



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**



# **Repercussão do uso de suportes ventilatórios na sensibilidade das células ciliadas do recém-nascido**

---

**Carolina Madureira Rodrigues Rocha de Sá e Mello**

Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Biomédica

**Orientador: Prof. Doutor Carlos J. Dias  
Co-Orientador: Prof. Doutora Maria Teresa Neto  
Co-Orientador: Prof. Doutora Luisa Monteiro**

**20 de Abril de 2012**

## Agradecimentos

Ao Professor Carlos Dias pela orientação científica da dissertação e esclarecimento de dúvidas sobre conceitos teóricos mais complexos.

À Professora Dr.<sup>a</sup> Maria Teresa Neto por toda a sua disponibilidade, orientação e apoio ao longo destes meses, sem a qual não seria possível a realização deste projecto. Gostaria também de agradecer todo o seu trabalho de revisão da tese.

À Dr.<sup>a</sup> Luisa e ao departamento de ORL do hospital Dona Estefânia por terem cedido o equipamento necessário à realização dos exames auditivos. Quero ainda agradecer à Dr.<sup>a</sup> Luisa pelo esclarecimento de dúvidas relativas aos exames de OEA e ABR.

A toda a equipa de médicos da UCIN do hospital Dona Estefânia, que me auxiliou na realização dos exames de rastreio auditivo, em particular à Dr.<sup>a</sup> Ana Pita que tantas vezes permaneceu comigo na unidade após ter terminado o seu turno e que fez tudo ao seu alcance para contribuir para o sucesso deste trabalho.

A todos os pais, que apesar de se encontrarem a viver um período traumático, consentiram que os seus filhos entrassem neste estudo. Sem eles este estudo não teria sido realizado.

Ao Departamento de Materiais da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por ter facultado todo o material e *software* necessários à realização dos estudos acústicos.

Gostaria ainda de deixar um agradecimento a todos os enfermeiros e auxiliares da UCIN do hospital Dona Estefânia que me viram durante meses invadir o seu local de trabalho com todo o tipo de aparelhagem. Muito obrigada pela vossa boa disposição e simpatia constantes que tornam o ambiente desta unidade crítica mais leve. Obrigada também pela vossa pronta disponibilidade em me ajudarem a mover mobiliário e incubadoras de modo a facilitar acesso a locais de medição.

Finalmente gostaria de agradecer à minha família, em especial à minha prima Inês e ao marido por me terem deixado tornar a sua sala de estar em sala de estudo durante o último mês da elaboração desta dissertação. E à minha mãe por todo o seu apoio incondicional e paciência em aturar os meus queixumes e mau humor quando as coisas não corriam como planeado.

## Resumo

**Introdução:** Os recém-nascidos (RN) admitidos em unidades de cuidados intensivos (UCIN) estão expostos a níveis de ruído superiores aos recomendados, dependentes de múltiplos fatores nomeadamente tipo de ventilação. Esta exposição pode ter eventual repercussão na acuidade auditiva. A perda da audição causa graves problemas no desenvolvimento cognitivo pelo que é importante determinar e reduzir as suas causas. **Objetivo:** Avaliar o ruído a que é submetido um RN com suporte ventilatório e determinar se existe relação entre o tipo de ventilação e alterações no funcionamento das células ciliadas cocleares. **Local do estudo:** UCIN do Hospital Dona Estefânia. **Tipo de Estudo:** Estudo de casos. **Métodos e Doentes:** Utilizou-se o sonómetro modelo 2260 *Investigator* da *Brüel and Kjær* para medir níveis de ruído na UCIN e o equipamento *Abaer and OEA Hearing Screening System* da *Bio-logic* para avaliar a função coclear dos RN. Realizaram-se medições de ruído ambiental e em incubadoras nas seguintes condições: vazia, com RN sem suporte ventilatório, com RN em dois tipos de suporte ventilatório: invasivo e CPAP nasal (Continuous Positive Airway Pressure). Todas as medições foram efectuadas por períodos de 24 horas. Para determinar possíveis alterações do funcionamento das células ciliadas cocleares todos os RN foram submetidos diariamente a exames de rastreio de otoemissões acústicas durante o período de internamento. Quando possível acrescentaram-se os resultados do rastreio auditivo realizado em ambulatório. Realizaram-se pontualmente exames de potenciais evocados auditivos para detectar possíveis falsos positivos. **Resultados:** Foram estudados 8 RN. O CPAP apresentou níveis constantes de ruído de cerca de 64dB e a ventilação mecânica invasiva na ordem dos 56dB. Parece haver uma tendência de pior função auditiva por parte dos recém-nascidos ventilados. Não foi demonstrada relação direta entre o uso de suporte ventilatório e alterações no funcionamento das células ciliadas cocleares. **Conclusão:** Parece haver uma tendência de pior resposta auditiva por parte dos RN ventilados que deverá ser confirmada em estudo envolvendo maior número de doentes.

**Palavras-chave:** Cuidados Intensivos Neonatais, Ventilação Assistida, CPAP nasal, células ciliadas cocleares, sensibilidade auditiva

## Abstract

**Background:** Neonates in intensive care units (NICU) are exposed to noise often exceeding recommended levels. Noise levels depend on multiple factors namely type of ventilator support. Noise may influence hearing sensitivity. Hearing loss has a great influence in cognitive development so it is important to determine and reduce its causes. **Objective:** To determine the noise to which neonates with respiratory support are exposed, and understand if there is a link between the type of respiratory support and hearing loss. **Setting:** NICU of Dona Estefânia Hospital. **Material and Methods:** A sound level meter, model 2260 *Investigator* from *Brüel and Kjær*, to measure noise intensity and the *Abaer and OEA Hearing Screening System* from *Biologic* to perform hearing screen evaluation to the neonates. Noise intensity was measured in various conditions of the NICU: environmental noise, noise inside the incubator under several conditions - empty, with infants without mechanical ventilation, with infants with invasive mechanical ventilation and with infants receiving nasal continuous positive airway pressure (CPAP). In order to assess changes in the sensitivity of cochlear hair cells, all infants in NICU were submitted to otoacoustic emissions (OEA) hearing screens once a day during their entire stay in the NICU. When possible, data from the official hearing screening appointment, obtained after discharge, was also collected. When necessary, auditory brain stem responses (ABR) were performed to exclude possible OEA false positives. **Type of study:** Case studies for each of the eight children evaluated. **Results:** Nasal CPAP produces continuous noise levels at around 64dB and invasive mechanical ventilation at 54dB. The data obtained doesn't show a direct connection between ventilatory support and changes in cochlear hair cells sensitivity. **Conclusion:** Although there seems to be a tendency among NICU infants under ventilation to score lower in hearing screening tests although this tendency is not enough to draw any conclusions. Further studies enrolling more newborn infants are needed to answer this question.

**Key words:** Neonatal Intensive Care Unit, Continuous positive airway pressure, Invasive mechanical ventilation, NICU, OAE, cochlea's hair cells

## Simbologia e Notações

CPAP – *Continuous Positive Airway Pressure*

RN – Recém-nascido

UCIN – Unidade de cuidados intensivos neonatais

OEA – Otoemissões Acústicas

$f$  – Frequência

$T$  – Período

$\Lambda$  – Comprimento de onda

$c$  – Velocidade do som

$\phi$  – Fase inicial

$p(t)$  – Pressão sonora instantânea

$P$  – Potência sonora

$I$  – Intensidade sonora

SPL – Nível de pressão sonora

SIL – Nível de intensidade sonora

W – Watt, medida de potência

Pa – Pascal, medida de pressão

dB – Decibel, medida do som

Hz – Hertz, medida de frequência

$L_{eq}$  – Ruído equivalente

$L_{min}$  – Ruído mínimo

$L_{amx}$  – Ruído máximo

$L_{10}$  – Valor do nível de pressão sonora excedido 10% do tempo de medição

$L_{50}$  – Valor do nível de pressão sonora excedido 50% do tempo de medição

$L_{90}$  – Valor do nível de pressão sonora excedido 90% do tempo de medição

$L_{ep,d}$  – Nível de exposição diária

dB(A) – Decibéis calculados utilizando o filtro de ponderação A

dB(B) – Decibéis calculados utilizando o filtro de ponderação B

dB(C) – Decibéis calculados utilizando o filtro de ponderação C

S – Tempo de resposta lento

F – Tempo de resposta rápido

I – Tempo de resposta de impulso

DEPOEA – Otoemissões acústicas evocadas produtos de distorção

ABR – Resposta auditiva do tronco cerebral

POVR – *Point optimum variance ratio*

ORL – Otorrinolaringologista

NF – Ruído ambiental

CMV – Citomegalovírus

OMS – Organização mundial de saúde

## Índice

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>ii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iv</b>
<b>Simbologia e Notações.....</b>	<b>v</b>
<b>Estado da Arte .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Fundamento Teórico.....</b>	<b>4</b>
1.1. Acústica .....	4
1.1.1. O Som e os seus parâmetros.....	4
1.1.2. Níveis sonoros e o decibel .....	7
1.1.3. Filtros e Frequências.....	11
1.1.4. O ruído.....	16
1.1.5. Psicoacústica .....	19
1.2. Audiologia .....	21
1.2.1. Anatomia e fisiologia da audição.....	21
1.2.2. Exames audiológicos .....	32
<b>2. Descrição dos alvos de estudo.....</b>	<b>38</b>
2.1. Recém-nascidos .....	38
2.2. Unidade de Cuidados Intensivos Neonatais .....	39
2.3. Incubadoras .....	40
2.4. Ventilação .....	43
<b>3. Metodologia de abordagem.....</b>	<b>46</b>
3.1. Estudos acústicos.....	46
3.1.1. Equipamento.....	46
3.1.2. Estudo acústico ambiental .....	46
3.1.3. Estudo acústico de incubadoras .....	48
3.2. Estudo audiológico .....	50
3.2.1. Equipamento.....	50
3.2.2. Exame de rastreio DPOEA .....	51
3.2.3. Exame de rastreio ABR.....	53
3.2.4. Informação dos recém-nascidos.....	56
<b>4. Discussão de Resultados.....</b>	<b>58</b>
4.1. Estudo acústico .....	58
4.1.1. Estudo acústico ambiental .....	58

4.1.2. Estudo acústico de incubadoras .....	60
4.2. Estudos audiológicos .....	68
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>87</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>90</b>



## Índice de Figuras

Figura 1 – Correspondência entre a pressão do ar e a onda sonora .....	5
Figura 2 - Exemplo de um espectro de amplitude (retirado do <i>Software Noise Explorer Type 7815</i> ) .	6
Figura 3 - Exemplos de escala linear e escala logarítmica [31] .....	9
Figura 4 - Correções para soma de fontes sonoras [31] .....	10
Figura 5 - Correções para subtração de fontes sonoras [31] .....	11
Figura 6 - Comparação de banda fina, de 1 oitava e de 1/3 de oitava (adaptado de [1]) .....	14
Figura 7 - Frequências de resposta das ponderações A, B e C (adaptado de [1]) .....	14
Figura 8 - Exemplos de sonómetros .....	18
Figura 9 - Curvas isofônicas [31] .....	20
Figura 10 - A cabeça e as suas estruturas [2] .....	21
Figura 11 - As três porções do ouvido [2] .....	22
Figura 12- Ouvido externo [2] .....	23
Figura 13 - Membrana Timpânica [2] .....	24
Figura 14 - Ouvido médio [2] .....	25
Figura 15 - Ouvido interno [2] .....	27
Figura 16- Resumo da fisiologia auditiva desde o ouvido externo ao interno [4] .....	31
Figura 17 - Células ciliadas cocleares [5] .....	29
Figura 18 - Sistema auditivo do aparelho receptor ao centro de percepção [3] .....	30
Figura 19 - Sonda de OEA e aparato auditivo [5] .....	33
Figura 20 - Gráfico exemplo de um exame ABR [6] .....	35
Figura 21 - Planta da UCIN do hospital Dona Estefânia .....	40
Figura 22 – Incubadora <i>Air Shields Isolette C2000</i> e incubadora <i>Caleo</i> [7] [8] .....	41
Figura 23 - Incubadora <i>Giraffe</i> e incubadora <i>8000SC</i> [9] [10] .....	42
Figura 24 - Equipamento de CPAP <i>Infante Flow SiPAP</i> da Viasys Healthcare [11] .....	44
Figura 25 - Ventilador <i>Babylog 8000 Plus</i> da <i>Dräger</i> [12] .....	45
Figura 26 - Sonómetro <i>2260 Investigator</i> da <i>Brüel and Kjær</i> [13] .....	46
Figura 27 - Planta da UCIN do Hospital Dona Estefânia com localização das medições ambientais .....	47
Figura 28 - Equipamento <i>Abar and OEA Hearing Screening System</i> [13] .....	51
Figura 29 - Resultado de um Exame de Rastreio DPOAE .....	53
Figura 30 - Resultado de um Exame de Rastreio ABR .....	55
Figura 31 - Gráfico com os $L_{Aeq}$ ambientes da UCIN do hospital Dona Estefânia .....	59
Figura 32 - Gráfico do $L_{eq}$ em incubadoras sem ocupação .....	61
Figura 33 - Gráfico do $L_{eq}$ em incubadoras com RN sem ventilação .....	63
Figura 34 - Gráfico do $L_{eq}$ em incubadoras com RN com ventilação mecânica invasiva .....	64

Figura 35 - Gráfico do $L_{eq}$ em incubadoras com RN com CPAP nasal.....	64
Figura 36 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN R.M. ....	69
Figura 37 - Gráfico da folga dos resultados do RN R.M. ....	70
Figura 38 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN A.V.....	71
Figura 39 - Gráfico da folga dos resultados do RN A.V.....	72
Figura 40 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN S.F. ....	73
Figura 41 - Gráfico da folga dos resultados do RN S.F. ....	74
Figura 42 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN S.N.....	75
Figura 43 - Gráfico da folga dos resultados do RN S.N.....	76
Figura 44- Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN T.R.....	78
Figura 45 - Gráfico da folga dos resultados do RN T.R. ....	79
Figura 46 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN F.A. ....	80
Figura 47 - Gráfico da folga dos resultados do RN F.A. ....	81
Figura 48 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN M.C. ....	82
Figura 49 - Gráfico da folga dos resultados do RN M.C. ....	83
Figura 50 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN S.L. ....	84
Figura 51 - Gráfico da folga dos resultados do RN S.L. ....	85

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Frequências centrais das bandas de oitava e 1/3 de oitava (adaptado de [1]).....	12
Tabela 2 - Bandas de oitava e 1/3 de oitava (adaptado de [1]).....	13
Tabela 3 - Valores das Ponderações A, B e C (adaptado de [15]).....	15
Tabela 4 - Classificação dos níveis de exposição diária(adaptado de [1]).....	17
Tabela 5 - Parâmetros dos "tempos de resposta"(adaptado de [1]).....	19
Tabela 6 – Incubadoras existentes na UCIN do hospital D. Estefânia .....	41
Tabela 7- Especificações do fabricante para as incubadoras da UCIN do Hospital Dona Estefânia [9] [10] [7] [8].....	43
Tabela 10 - Medições em incubadoras sem ocupação .....	48
Tabela 11 - Medições em incubadoras com RN .....	49
Tabela 12 - Parâmetros de estímulo e gravação do rastreio de DPOEA [13].....	51
Tabela 13 - Protocolo dos DPOEA [13] .....	52
Tabela 14 - Parâmetros de estímulo e gravação do rastreio de ABR [13].....	54
Tabela 15 - Informação sobre RN estudados .....	56
Tabela 16 - Informação sobre os exames realizados .....	57
Tabela 17 - Intervalos diários de LAeq .....	58
Tabela 18 - Intervalos diários de $L_{10}$ .....	60
Tabela 19 - Intervalo diário para a frequência de 500Hz.....	60
Tabela 20 - Resultados do $L_{min}$ , $L_{10}$ e $L_{90}$ para incubadoras sem ocupação .....	61
Tabela 21 - Valores de atenuação das incubadoras.....	62
Tabela 22- Valores do $L_{eq}$ , $L_{min}$ e $L_{90}$ para incubadoras com RN e em análise de blocos de 1h	65
Tabela 23 - Valores do $L_{eq}$ e $L_{90}$ para incubadoras com RN e em análise de blocos de 12h.....	66
Tabela 24 - Informações do RN R.M. ....	69
Tabela 25 - Informações do RN A.V. ....	71
Tabela 26 - Informações do RN S.F.....	73
Tabela 27 - Informações do RN S.N. ....	75
Tabela 28 - Informações do RN T.R. ....	78
Tabela 29 - Informações do RN F.A.....	80
Tabela 30 - Informações do RN M.C. ....	82
Tabela 31 - Informações do RN S.L.....	84

## Estado da Arte

O início dos cuidados intensivos neonatais com novos e melhores equipamentos de suporte e apoio de vida, e a evolução das técnicas de ressuscitação, são responsáveis por um decréscimo na taxa de mortalidade dos recém-nascidos – RN, pré-termo [1] e/ou gravemente doentes. Com o progresso da ciência e tecnologia os tratamentos de várias patologias e a reabilitação dos RN pré-termo alcançaram níveis altamente sofisticados [2]. Esta maior taxa de sobrevivência provocou um aumento do número de pacientes que passa pelas Unidades de Cuidados Intensivos Neonatais – UCIN, assim como um aumento no tempo de permanência. Em Portugal é estimado que cerca de 10% dos nados vivos necessitam de cuidados intensivos neonatais [3].

Devido à sua imaturidade a maioria dos RN que passa pelas UCIN necessita de monitorização intensiva e de algum tipo de assistência médica, o que resulta em que estejam expostos a um grande número de estímulos, provocados não só pelas equipas da UCIN mas também pelos equipamentos que os rodeiam.

Estudos demonstram que na adaptação à vida extrauterina alguns dos órgãos dos RN pré-termo passam por um processo acelerado de maturação com sobrecarga do sistema orgânico. Nesta fase crítica do desenvolvimento a exposição a estímulos inapropriados deve ser controlada pois pode romper o padrão normal do desenvolvimento [2]. Existe assim uma preocupação em avaliar o impacto que a permanência em UCIN possa ter sobre estes RN.

Uma vez que os estímulos sonoros foram identificados como um factor ambiental importante que influencia a evolução destes RN vulneráveis ao longo dos anos foram realizados diversos estudos que abordam esta temática. [1]. Muitos destes estudos debruçaram-se sobre os efeitos da estimulação auditiva provocada pelos ruídos presentes na UCIN. O ruído nestas unidades é hoje objecto de grande preocupação pela possibilidade de causar lesão auditiva no RN.

Um estudo demonstrou que a prevalência de perdas auditivas significativas é de 0,1% em crianças nascidas na população geral mas de 2 a 4% em crianças que passaram pela UCIN [4]. Um outro estudo situou a prevalência de perda auditiva entre crianças das UCIN em cerca 2 a 5% [5]. Estas perdas provocam atraso do desenvolvimento cognitivo, intelectual e da linguagem, contribuindo para o insucesso académico e problemas de integração social [1] [6].

As disparidades entre o ambiente abafador do útero e o ambiente da UCIN são extremas [7], e manter baixos os níveis sonoros da UCIN é uma prioridade [1]. No entanto estudos demonstram que na maioria dos casos o ruído nestas unidades ultrapassa os 45dB recomendados [8] [9].

Os ruídos de uma UCIN são inesperados, desregulados e variados, e estes recém-nascidos são especialmente vulneráveis ao estresse sonoro associado ao ambiente da UCIN, o que provoca respostas fortes e pouco reguladas como bradicardia [1]. Os problemas auditivos são outra possível consequência da exposição constante aos ruídos da UCIN; estes podem

provocar lesões na cóclea, acarretando perda auditiva e alteração dos parâmetros fisiológicos [2] [10]. A acrescentar a isto existem suspeitas de que a cóclea do recém-nascido apresenta uma redução da tolerância ao ruído face à cóclea do adulto o que torna ainda mais urgente regular e diminuir o ruído a que os recém-nascidos na UCIN estão expostos [3] [8].

Entre os factores de risco associados a perdas auditivas por permanência na UCIN encontra-se o suporte ventilatório. Um estudo americano realizado a 4478 recém-nascidos da UCIN verificou que os maiores factores de risco de perda auditiva são medicação ototóxica, baixo peso à nascença (<1500g) e suporte ventilatório por 5 dias ou mais [11]. Outro estudo apontou a ventilação mecânica e permanência longa na UCIN como os maiores riscos de perda auditiva [6].

Os pulmões são o último órgão a atingir maturidade enquanto o feto se desenvolve no útero materno. Por este motivo os problemas respiratórios são algumas das complicações mais comuns nos recém-nascidos pré-termo. A ventilação é uma das áreas mais importantes no conjunto de tratamentos e assistência prestados na UCIN e a maioria dos recém-nascidos que por ali passa terá algum tipo de apoio ventilatório durante a sua estadia. Neste campo a ventilação não invasiva tem vindo a adquirir uma importância crescente em Cuidados Intensivos Neonatais sendo o CPAP nasal – Continuous Positive Airway Pressure, a ventilação não invasiva de excelência utilizada em todas as UCIN. O CPAP melhora a qualidade de vida deste grupo de sobreviventes através da emissão de um fluxo constante de ar que ajuda os alvéolos a não colapsar no final da expiração. No entanto o fluxo de ar emitido gera ruído elevado contínuo que chega directamente ao ouvido do recém-nascido. É assim de extrema importância conhecer o nível de ruído produzido pelo uso de CPAP nasal e avaliar os efeitos desse ruído na acuidade auditiva de recém-nascidos submetidos a este modo de ventilação.

Neste trabalho pretende-se determinar se o ruído produzido pelo fluxo de ar do CPAP nasal aplicado ao recém-nascido pode condicionar o risco de modificações nas células ciliadas cocleares resultando em alterações da acuidade auditiva. O estudo foi realizado na UCIN do hospital Dona Estefânia e consistiu em três partes: avaliação dos ruídos ambientais na UCIN, avaliação dos ruídos dentro das incubadoras em diferentes situações e avaliação da função coclear de todos os recém-nascidos que passaram pela UCIN durante o período deste estudo.

Apesar de as UCIN dos países ocidentais serem construídas segundo as melhores directivas arquitectónicas e os procedimentos médicos serem semelhantes, cada uma delas é um ambiente único que deve ser avaliado individualmente. Por isso, tentativas de gestão apropriada de ruído devem ser definidas individualmente [12]. Perante isto, e de acordo com referências prévias [13], optou-se por realizar um estudo prévio de ruído ambiental da UCIN do Hospital Dona Estefânia utilizando o sonómetro 2260 *Investigator* da *Brüel and Kjær*.

A avaliação do ruído no interior das incubadoras foi também realizada com este sonómetro. Foram feitas medições nos 4 modelos de incubadoras existentes nesta UCIN em situação de não ocupação, ocupação por recém-nascido sem suporte ventilatório, ocupação por recém-nascido com ventilação mecânica invasiva, e ocupação por recém-nascido em suporte ventilatório não invasivo – CPAP nasal.

Todas as medições foram efectuadas por períodos de 24 horas, e permitiram quantificar e qualificar os diferentes ruídos a que estão submetidos os recém-nascidos em todas as possibilidades de ocupação de incubadora e ventilação.

Para avaliar a integridade das células ciliadas cocleares realizaram-se rastreios auditivos de Otoemissões Acústicas de Produtos de Distorção – DPOEA [11]. A escolha deste exame baseou-se em estudos que apoiam e recomendam o uso de DPOAE nas UCINS e em recém-nascidos [1] [5] [14]. Optou-se por realizar um estudo acompanhado de todos os recém-nascidos presentes na UCIN, que foram submetidos diariamente a exames de rastreio de OEA durante o período de internamento. Foram assim avaliados recém-nascidos sem suporte ventilatório, em suporte ventilatório mecânico e em CPAP nasal. Quando possível foram recolhidos os exames provenientes da consulta de rastreio auditivo realizada em ambulatório.

Embora as UCIN sejam unidades com forte ruído electromagnético tentou-se realizar exames de rastreio de potenciais evocados – ABR, com o intuito de rastrear possíveis falsos positivos resultantes do exame de rastreio de DPOEA. Os rastreios de DPOAE e ABR foram realizados com o equipamento *Abaer and OEA Hearing Screening System* da *Bio-logic*

Para cada recém-nascido foi feito o registo de factores de risco possíveis de influenciar a acuidade auditiva [15] como infeções durante a gravidez, idade gestacional, peso ao nascer, índice de Apgar, história de icterícia e sépsis e medicação ototóxica.

No capítulo II é feito um estudo detalhado dos alvos de estudo: recém-nascidos, UCIN, incubadoras e ventilação. No capítulo III é abordada a metodologia utilizada neste trabalho e no capítulo IV apresentados e discutidos os resultados. Esses resultados foram trabalhos em *Noise Explorer Type 7815* da *Brüel and Kjær* e *MS Office Excel2007* da *Microsoft*. Por fim no capítulo V são apresentadas as conclusões deste estudo.

Este estudo teve como objectivo melhorar a compreensão do eventual impacto negativo, que o apoio ventilatório, em especial o CPAP nasal, pode ter sobre as células ciliadas cocleares dos recém-nascidos internados na UCIN. Embora seja extremamente difícil avaliar esse impacto, é muito importante realizar trabalhos do género, que abram caminho na percepção de possíveis consequências prejudiciais causadas por tecnologias de apoio à vida. São estes estudos que permitem que a engenharia biomédica contribua para a evolução e melhoria dos equipamentos hospitalares.

## 1. Fundamento Teórico

Para compreender os efeitos nefastos da exposição ao ruído é necessário ter conhecimento dos aspectos anatómicos e fisiológicos da audição. A análise das condições sonoras exige o conhecimento das características do som, suas classificações e forma de medição, sendo necessário saber como avaliar corretamente os limites de exposição.

Neste primeiro capítulo pretende-se analisar os conteúdos teóricos relacionados com o trabalho. Interligar os seus conteúdos e facultar toda a informação necessária à compreensão do mesmo. Deste modo pretende-se facilitar o entendimento do trabalho por parte de profissionais das diferentes áreas: médica e engenharia.

São aqui descritos conceitos acústicos associados ao som, ao ruído e à sua medição, assim como conceitos audiológicos associados à anatomia e fisiologia do ouvido, e à realização de exames auditivos.

### 1.1. Acústica

A acústica é o ramo da física que estuda as leis dos sons e dos fenómenos que lhe dizem respeito, e cobre a geração, propagação e recepção do mesmo, pelo Homem, ou por dispositivos e instrumentos de medida.

#### 1.1.1. O Som e os seus parâmetros

O som é a propagação de ondas mecânicas num meio elástico, originadas por vibrações e oscilações de objectos. Ao propagarem-se as diferenças de pressão dessas ondas atingem o tímpano dando início ao processo de audição. Neste trabalho iremos apenas considerar a transmissão de som no ar, uma vez que este é o principal meio de transmissão de som nas UCIN.

O ar consiste em moléculas – partículas, que estão em movimento aleatório constante. Quando um objecto vibra no ar as partículas que o compõem tendem a deslocar-se na mesma direcção em que o objecto vibra e não aleatoriamente. As partículas mais próximas do objecto deslocam-se primeiro, transmitindo esse movimento às partículas adjacentes, estas por sua vez transmitem a perturbação às suas partículas vizinhas e assim sucessivamente. Esta progressão faz com que a perturbação chegue ao ouvido onde provoca a vibração do tímpano, o que resulta na experiência de ouvir um som audível.

À medida que o objecto vibra a pressão de ar aumenta acima da pressão estática do ar, para posteriormente decrescer e logo em seguida aumentar de novo. Temos assim áreas de compressão a alternar com áreas de rarefacção, provocando uma onda que se desloca através dos espaços afastando-se do objecto vibrante.

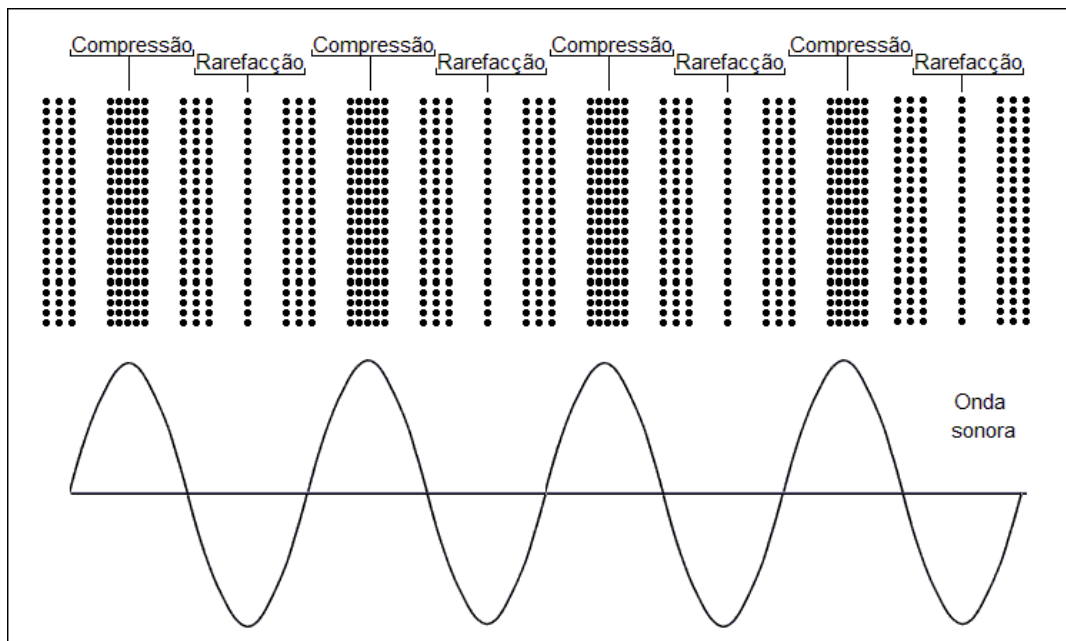


Figura 1 – Correspondência entre a pressão do ar e a onda sonora

A onda sonora propaga-se para longe do objecto vibrante de um modo circular se analisarmos este fenómeno a 2 dimensões, e de um modo esférico se analisarmos a 3 dimensões. À medida que a onda se afasta do objecto, a densidade e a pressão vão diminuindo até serem iguais à pressão de fundo – pressão estática do ar. A partir deste ponto nenhuma onda sonora é propagada. Mais à frente encontra-se descrita a relação entre intensidade sonora e distância à fonte.

#### Parâmetros característicos do som

Comprimento de onda –  $\lambda$ , é a distância entre condensações ou rarefaccões sucessivas. É expressa em unidades de distância, geralmente metros, e pode igualmente ser medida entre dois pontos semelhantes sucessivos.

Frequência –  $f$ , é o número de repetições que acontece num ciclo, e a sua unidade é o Hz, ( $1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$ ). Ao seu inverso chama-se período –  $T$ , parâmetro que traduz a duração de um ciclo completo e que vem expresso em segundos.

Quanto maior a frequência de um som, menor a duração entre condensações ou rarefaccões e portanto menor o comprimento de onda.

A velocidade de propagação da onda no meio –  $c$ , é expressa em  $\text{m.s}^{-1}$  e é proporcionalmente directa ao comprimento de onda, e proporcionalmente inversa à frequência. Estes três parâmetros relacionam-se segundo a seguinte equação:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad \text{onde:} \quad \begin{array}{l} \lambda - \text{comprimento de onda [m]} \\ c - \text{velocidade do som [m.s}^{-1}\text{]} \\ f - \text{frequência [Hz]} \end{array}$$



A velocidade do som no ar é de aproximadamente  $350\text{m.s}^{-1}$ , e este valor varia com a humidade, temperatura e densidade do ar. A velocidade é maior numa área quente e húmida ao nível do mar, do que numa área fria e seca acima do nível do mar.

A fase inicial –  $\phi$ , indica a posição inicial de uma onda e é útil na comparação entre ondas.

### Som puro vs. Som complexo

As vibrações básicas do som podem ser descritas por sinusoidais. As ondas sonoras constituídas por uma só sinusoidal são chamadas de ondas simples e dão origem a sons puros. As ondas sonoras constituídas pela soma de várias sinusoidais são chamadas de ondas complexas e dão origem a sons complexos. A maioria dos sons com que nos deparamos no dia-a-dia é complexa. Os sons puros têm um papel importante em medicina, nomeadamente no rastreio e diagnóstico de problemas auditivos.

A descrição de uma onda no domínio temporal relaciona a amplitude (ou pressão) instantânea da onda com o tempo. Para desenhamos o gráfico de uma onda complexa no domínio do tempo recorre-se a uma aplicação gráfica do teorema de Fourier.

A descrição de uma onda domínio das frequências descreve a onda em termos das suas frequências. Para derivar espectro de uma onda no domínio das frequências a partir do domínio temporal utiliza-se a análise de Fourier.

O gráfico da amplitude de cada componente sinusoidal em função da sua frequência é chamado de espectro de amplitude e o gráfico de fase inicial de cada componente sinusoidal é chamado o espectro de fase. Uma onda complexa está definida quando os seus espectros de amplitude e fase estão descritos. Na Figura 2 encontra-se um exemplo de um espectro de amplitude

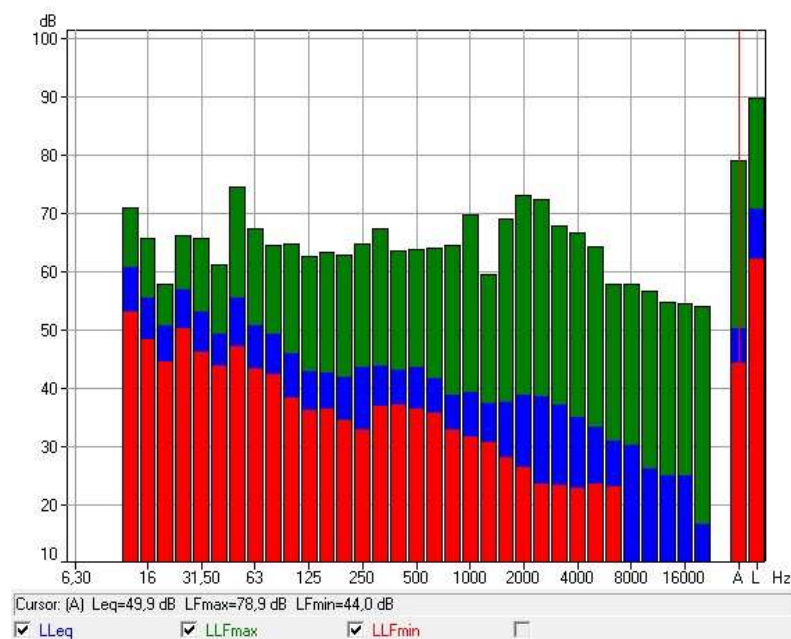


Figura 2 - Exemplo de um espectro de amplitude

Um espectro de linha traduz um som complexo constituído por um número discreto de componentes sinusoidais, ao passo que um espectro contínuo traduz um som complexo constituído por todas as suas componentes sinusoidais.

É comum os espectros de linha serem constituídos por uma frequência fundamental e múltiplos inteiros dessa frequência – frequências harmónicas. A combinação destas frequências produz sons complexos.

### 1.1.2. Níveis sonoros e o decibel

A pressão sonora instantânea –  $p(t)$ , de um objecto vibrante sobre uma dada área é traduzida pela seguinte expressão:

$$p(t) = \frac{\text{Massa} \cdot \text{Velocidade}}{\text{Tempo} \cdot \text{Área}}$$

Outro modo de definir essa pressão é através da força, sendo:

$$p(t) = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}, \text{ pois } F = \frac{\text{massa} \cdot \text{velocidade}}{\text{tempo}}$$

A pressão sonora é equivalente à força exercida pelo objecto por unidade de área, o que significa que o objecto realiza trabalho. Pode-se então definir intensidade e potência sonora.

A potência sonora –  $P$ , é a quantidade de energia emitida pela fonte sonora por unidade de tempo e tem como unidade o Watt.

A intensidade sonora –  $I$ , é o fluxo de energia por unidade de área. É medido em  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  e apresenta a seguinte relação com a potência:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

A intensidade do som decresce com o aumento da distância à fonte, sendo inversamente proporcional ao quadrado da distância do ouvinte à fonte:

$$I \propto \frac{1}{R^2}$$

ou seja, duplicar a distância do ponto onde medimos à fonte, reduz a intensidade sonora para  $\frac{1}{4}$  do valor medido inicialmente.

A relação entre intensidade e pressão sonora é descrita pela seguinte expressão:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}, \quad \text{onde:} \quad \begin{aligned} I &- \text{intensidade sonora [W.m}^{-2}\text{]} \\ p &- \text{pressão sonora [Pa=N.m}^{-2}\text{]} \\ \rho &- \text{densidade do meio [kg.m}^{-3}\text{]} \\ c &- \text{velocidade do som [m.s}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

A intensidade, pressão e potência sonora, vão ter valores numéricos diferentes, mas as suas relações não afectam a descrição básica da sinusoidal de vibração do objecto. Um objecto que vibra com uma frequência de 200Hz pode ter uma pressão de 100μPa ou uma potência sonora de 10<sup>-12</sup>W.cm<sup>-2</sup>, mas a sua frequência mantém-se 200Hz

Se as leituras de pressão sonora forem realizadas em unidades comuns de pressão o intervalo de resultados obtido é muito grande e constituído por valores muito pequenos. Por outro lado, estudos realizados ao ouvido humano mostraram que o intervalo dinâmico (intervalo entre o menor valor de intensidade sonora necessário à detecção de som e o maior valor de intensidade sonora no limiar de danificar o ouvido) do sistema auditivo é constituído por 10<sup>14</sup> unidades e que as razões entre pressões sonoras são mais aproximadas à percepção humana do som, do que a percepção das diferenças de pressão.

Posto isto optou-se por converter a escala de intervalos de pressão (escala linear) para uma escala de razões (escala logarítmica), utilizando-se o decibel como medida sonora.

As equações em decibéis para intensidade, potência e energia são respectivamente:

$$10 \log \left( \frac{I_1}{I_2} \right) = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \log \left( \frac{E_1}{E_2} \right)$$

E como  $I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$ , a equação em decibéis para pressão sonora é:

$$10 \log \left( \frac{I_1}{I_2} \right) = 10 \log \left( \frac{p_1^2}{p_2^2} \right) = 20 \log \left( \frac{p_1}{p_2} \right)$$

ou seja o decibel é 10 vezes o logaritmo da razão entre duas intensidades, duas potências ou duas energias e 20 vezes o logaritmo da razão entre duas pressões. Trata-se de uma medida relativa que indica a quantos decibéis um som está relativamente a um valor de referência.

Os medidores de pressão sonora medem o nível de pressão –  $p_1$ , e comparam-no com esse valor de referência –  $p_2$ . Regra geral a pressão de referência escolhida é  $20\mu\text{Pa}$ , valor que corresponde ao som mais baixo que o ouvido humano consegue detectar – valor limiar auditivo. Deste modo obtém-se o nível de pressão sonora – SPL:

$$\text{SPL} = 20\log\left(\frac{p_1}{20 \times 10^{-6}}\right)$$

Em suma o SPL – *Sound Pressure Level*, expressa quantos decibéis a pressão medida se encontra acima do limiar auditivo. Neste trabalho iremos apenas trabalhar com este nível de pressão sonora.

Uma outra convenção, bastante usada em medicina, calcula o nível de sensação – SL, que utiliza como valor de referência o valor mínimo que a pessoa em estudo consegue detectar numa situação experimental particular.

Para calcular o nível de intensidade sonora – SIL, usamos como intensidade sonora de referência o valor  $10^{-12}\text{W.m}^{-2}$ . E para calcular o nível de potência sonora – SPL, usamos como potência sonora de referência o valor  $10^{-12}\text{W}$ .

Sendo a pressão sonora inversamente proporcional ao quadrado da distância –  $r$ , utilizando as definições de SPL e SIL verifica-se que, ao duplicar a distância do ponto de medição à fonte, os níveis sonoros decrescem 6 dB.

A Figura 3 permite de um modo simples compreender a vantagem de trabalhar numa escala em decibéis comparativamente a trabalhar numa escala em pascais.

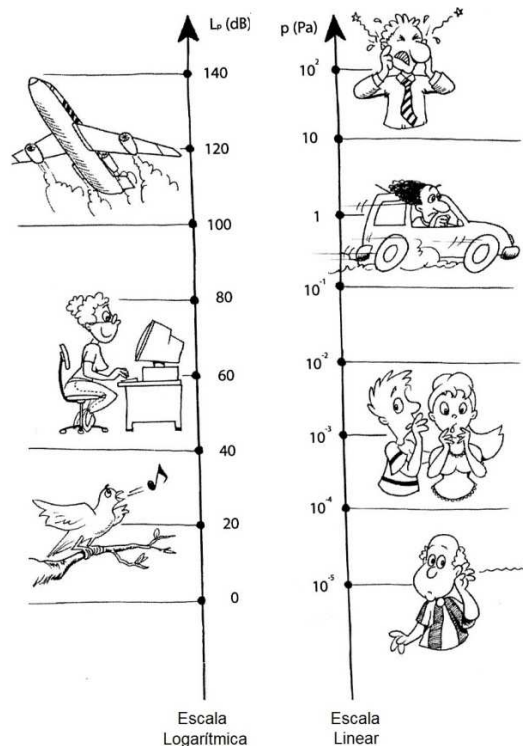


Figura 3 - Exemplos de escala linear e escala logarítmica

### Adição de níveis sonoros

Como em situações reais estamos sujeitos a sons provenientes de diversas fontes, é muitas vezes importante calcular o nível sonoro num ponto onde existe a contribuição de duas ou mais fontes. Uma vez que os níveis de pressão sonora são definidos numa escala logarítmica, estes não se podem simplesmente somar.

Nos casos em que duas fontes irradiam a mesma quantidade de energia a intensidade sonora medida num ponto equidistante às duas fontes será o dobro da intensidade medida pela contribuição de uma fonte. Já a pressão sonora sofrerá um aumento de 3dB uma vez que a intensidade é proporcional ao quadrado da pressão (de  $2\sqrt{2} \approx 3$  dB).

No caso de as fontes irradiarem quantidades diferentes de energia é necessário recorrer ao gráfico da Figura 4 para calcular a pressão sonora no ponto em questão.

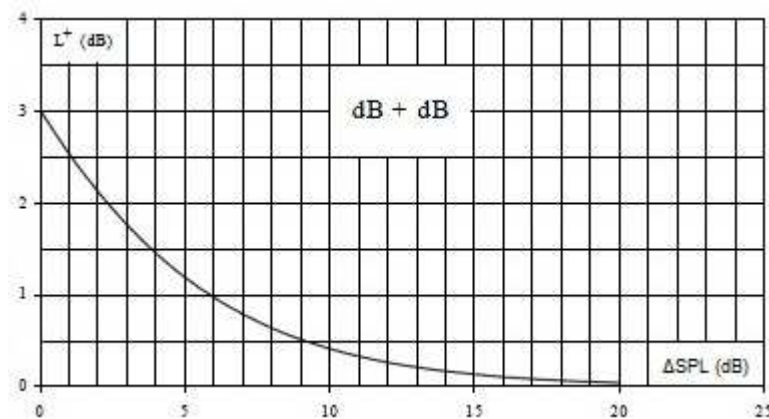


Figura 4 - Correções para soma de fontes sonoras

O primeiro passo será calcular a diferença de nível de pressão entre as duas fontes –  $\Delta SPL$ . Em seguida retirar do gráfico o valor de pressão correspondente a essa diferença –  $L^+$ , e por fim somar esse valor ao valor da fonte com maior nível de pressão.

Nos casos em que há contribuição de mais de duas fontes com níveis de pressão diferentes, fazem-se combinações de fontes duas a duas em passo sucessivos.

Observando o gráfico da Figura 4 verifica-se que para uma diferença  $\Delta SPL=0$ , ou seja para fontes com o mesmo nível de pressão sonora, corresponde uma adição de 3dB, tal como indicado anteriormente. Para diferenças de pressão sonora superiores a 10dB a contribuição da fonte de menor valor é desprezável.

### Subtração de níveis sonoros

A subtração de níveis sonoros é útil nos casos em que se pretende estudar a emissão de som de um equipamento na presença de ruído de fundo. Para tal é necessário medir-se o ruído total – contribuição do equipamento e ruído de fundo, desligar o equipamento e medir-se o ruído de fundo. Posteriormente calcula-se a diferença dessas duas pressões –  $\Delta SPL$ , e com ajuda do gráfico da Figura 5 consegue facilmente determinar-se a pressão sonora exclusiva ao equipamento.

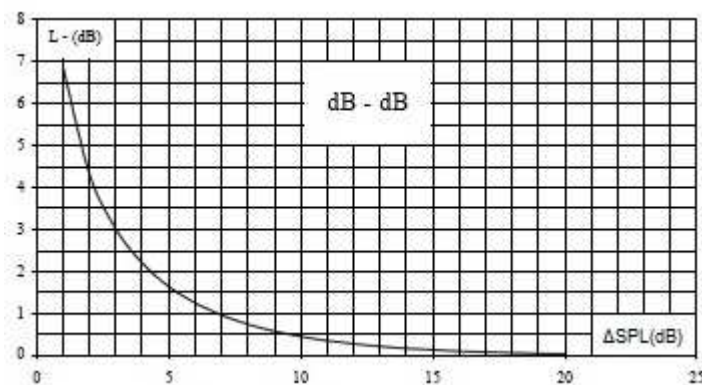


Figura 5 - Correções para subtração de fontes sonoras

Neste caso utiliza-se a diferença de nível de pressão calculada para se retirar do gráfico o valor de pressão correspondente a essa diferença –  $L -$ . Posteriormente subtrai-se esse valor à medição do ruído total.

### **1.1.3. Filtros e Frequências**

A frequência é, a par com os níveis de pressão sonora, um parâmetro muito importante na caracterização do som. Um som é composto por várias frequências que permitem diferenciar e identificar as suas fontes. Um som que contenha predominantemente frequências baixas é considerado grave, ao passo que um som que contenha mais frequências altas é considerado agudo.

Quando se trabalha com frequências sonoras é importante não confundir os conceitos de altura e intensidade. Altura é referente à frequência de um som, ao passo que intensidade é referente à amplitude. Um “aumento de volume” comum no dia-a-dia corresponde a um aumento da intensidade do som e não da sua altura.

Outro conceito associado às frequências é o timbre. Timbre é o conjunto de frequências combinadas de um som. Constitui portanto o espectro sonoro e é o que torna possível ao ouvido distinguir sons com a mesma frequência e amplitude mas emitidos por fontes diferentes

## Filtros

Ao medir um som o microfone capta toda a energia acústica sem ter em consideração as frequências que o compõem. Um filtro permite analisar as frequências de um som, uma vez que vai permitir apenas a passagem de determinadas bandas de frequência. Dois dos filtros mais usados em acústica, particularmente em estudos de ruído, são o filtro de bandas de oitava e o filtro de bandas de 1/3 de oitava.

Uma oitava é o intervalo (banda) existente entre dois sons puros e a razão entre as suas frequências é 2:1. Trata-se de uma banda cuja frequência limite superior –  $f_2$ , é o dobro da frequência limite inferior –  $f_1$ , e a sua expressão matemática é dada por:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^n, \quad \text{onde:} \quad \begin{aligned} f_2 & - \text{frequência do limite superior do intervalo da oitava [Hz]} \\ f_1 & - \text{frequência do limite inferior do intervalo da oitava [Hz]} \\ n & - \text{número de oitavas} \end{aligned}$$

A frequência central é  $f_0 = \sqrt{2f_1}$ . E a largura de banda é aproximadamente 70% da frequência central –  $f_0$ .

O filtro de banda 1/3 de oitava é utilizado quando é necessária uma análise mais rigorosa do ruído no domínio das frequências. Cada banda de oitava contém 3 bandas de 1/3 de oitava, e nestas bandas a frequência limite superior –  $f_2$  é tal que  $f_2 = \sqrt[3]{2f_1}$ . A largura de banda nestes filtros é aproximadamente 23% da frequência central –  $f_0$ .

Na Tabela 1 encontram-se as frequências centrais definidas na normalização internacional das bandas de oitava e de 1/3 de oitava.

	Frequências Graves (Hz)						Frequências Médias (Hz)						Frequências Agudas (Hz)					
Oitava	125			250			500			1000			2000			4000		
1/3 Oitava	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

Tabela 1 - Frequências centrais das bandas de oitava e 1/3 de oitava

A gama do audível (de 20Hz a 20kHz) está dividida em 10 bandas de oitava e 30 bandas de 1/3 de oitava. As frequências centrais e frequências limite superior e inferior estão normalizadas internacionalmente e os respectivos valores encontram-se a sombreado na Tabela 2.

Frequência central Nominal (Hz)	Banda de 1/3 Oitava (Hz)	Banda de Oitava
1,25	1,12 – 1,41	
1,6	1,41 – 1,78	
2	1,78 – 2,24	1,41 – 2,82
2,5	2,24 – 2,82	
3,15	2,82 – 3,55	
4	3,55 – 4,47	2,82 – 5,56
5	4,47 – 5,62	
6,3	5,62 – 7,08	
8	7,08 – 8,91	5,62 – 11,2
10	8,91 – 11,2	
12,5	11,2 – 14,1	
16	14,1 – 17,8	11,2 – 22,4
20	17,8 – 22,4	
25	22,4 – 28,2	
31,5	28,2 – 35,5	22,4 – 44,7
40	35,5 – 44,7	
50	44,7 – 56,2	
63	56,2 – 70,8	44,7 – 89,1
80	70,8 – 89,1	
100	89,1 – 112	
125	112 – 141	89,1 – 178
160	141 – 178	
200	178 – 224	
250	224 – 282	178 – 355
315	282 – 355	
400	355 – 447	
500	447 – 562	355 – 708
630	562 – 708	
800	708 – 891	
1000	891 – 1120	708 – 1410
1250	1120 – 1410	
1600	1410 – 1780	
2000	1780 – 2240	1410 – 2820
2500	2240 – 2820	
3150	2820 – 3550	
4000	3550 – 4470	2820 – 5620
5000	4470 – 5620	
6300	5620 – 7080	
8000	7080 – 8910	5620 – 11200
10000	8910 – 11200	
12500	11200 – 14100	
16000	14100 – 17800	11200 – 22400
20000	17800 – 22400	

Tabela 2 - Bandas de oitava e 1/3 de oitava

Na Figura 6 encontra-se um sinal analisado em banda fina, em banda de 1/3 de oitava e em banda de oitava. Observa-se que a soma de três bandas de 1/3 de oitava é igual ao valor da banda de oitava correspondente.



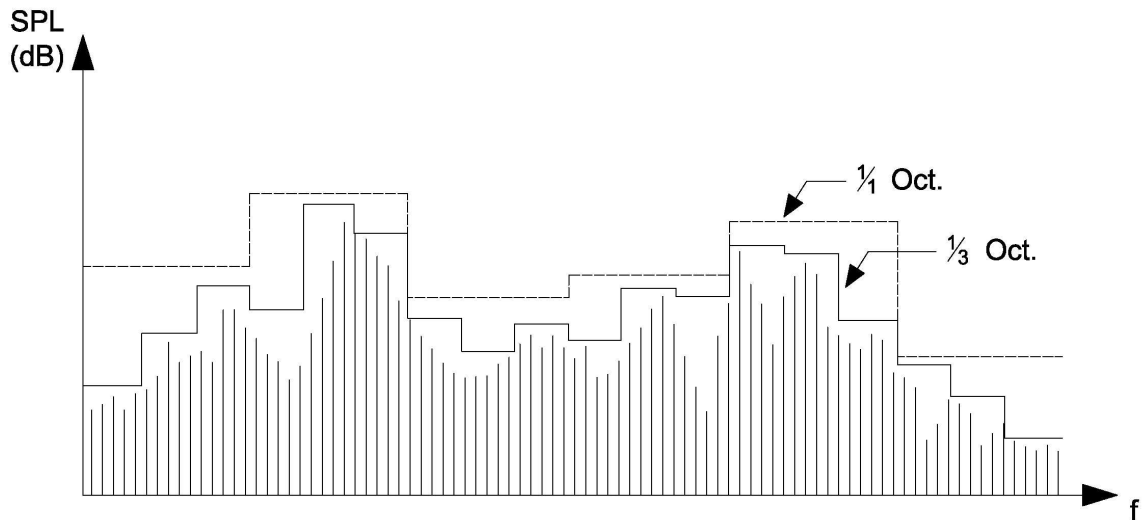


Figura 6 - Comparação de banda fina, de 1 oitava e de 1/3 de oitava

Quando se realizam medições sonoras, o microfone em uso capta todas as pressões com igual sensibilidade. O mesmo não acontece com o ouvido, que capta as pressões e as interpreta atribuindo-lhes diferentes importâncias consoante as suas frequências sejam graves, médias ou agudas. A resposta do ouvido em frequência não é linear.

De modo a relacionar os valores de pressão medidos pelo microfone com a resposta não linear do ouvido, foram introduzidos nos sonómetros filtros de ponderação. Estes filtros têm por base curvas de ponderação que atenuam o sinal sonoro. O cálculo dessas curvas é baseado em curvas de igual sensação sonora para o ouvido humano – curvas isofónicas. As ponderações mais usuais são as A, B e C cujas frequências de resposta se encontram no gráfico da Figura 7.

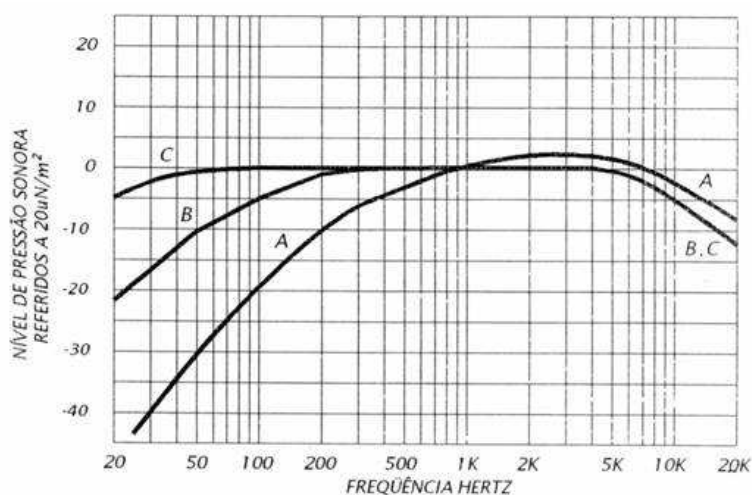


Figura 7 - Frequências de resposta das ponderações A, B e C

A curva A segue a curva isofónica de 40 dB, a curva B segue a curva isofónica de 70dB e a curva C segue a curva isofónica de 100dB. Na Tabela 3 encontram-se as ponderações introduzidas por estes filtros em função das frequências do som medido.

Frequências	Ponderação A	Ponderação B	Ponderação C
10	-70,4	-38,2	-14,3
12,5	-63,4	-33,2	-11,2
16	-56,7	-28,5	-8,5
20	-50,5	-24,2	-6,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3,0
40	-34,6	-14,2	-2,0
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,4	-3,0	-0,1
200	-10,9	-2,0	0,0
250	-8,6	-1,3	0,0
315	-6,6	-0,8	0,0
400	-4,8	-0,5	0,0
500	-3,2	-0,3	0,0
640	-1,9	-0,1	0,0
800	-0,8	0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0
1250	+0,6	0,0	0,0
1600	+1,0	0,0	-0,1
2000	+1,2	-0,1	-0,2
2500	+1,3	-0,2	-0,3
3150	+1,2	-0,4	-0,5
4000	+1,0	-0,7	-0,8
5000	+0,5	-1,2	-1,3
6300	-0,1	-1,9	-2,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,4	-8,5
20000	-9,3	-11,1	-11,2

Tabela 3 - Valores das Ponderações A, B e C

Uma vez que a sensibilidade do ouvido varia com a intensidade do som, a selecção dos filtros de ponderação a usar, é feita com base nos níveis de pressão sonora que se querem medir. Regra geral é utilizado o seguinte critério:

- Ponderação A: Intervalos de medição entre os 20 e os 55dB
- Ponderação B: Intervalos de medição entre os 55 e os 85dB
- Ponderação C: Intervalos de medição entre os 85 e os 140dB

Diferentes filtros de ponderação conduzem a diferentes valores de níveis sonoros. Para distinguir e identificar que filtro foi utilizado na medição, é comum usar-se a seguinte nomenclatura: dB(A), dB(B) e dB(C).

Existe outro filtro de ponderação – filtro D, que é utilizada quando se medem gamas de frequências entre os 1kHz e os 10kHz. Este filtro é normalmente utilizado em medições associadas a ruído de tráfego aéreo.

#### 1.1.4. O ruído

As ondas sonoras classificam-se em três tipos:

- Sinusoidal pura: tem a frequência e a amplitude bem definidas
- Não sinusoidal periódica: tem a frequência bem definida mas a amplitude não
- Ruído: não tem frequência definida, estatisticamente trata-se de uma mistura de sons que cobre uma gama do espectro de frequências

O ruído é o som cuja amplitude instantânea varia ao longo do tempo de um modo aleatório e que contem frequências de toda a gama do espectro. Existem diversos tipos de ruído tais como ruído Gaussiano, ruído branco, ruído Browniano e ruído Rosa.

Ruído Gaussiano é aquele cuja probabilidade de ocorrência segue uma distribuição Gaussiana (também conhecida por distribuição normal). Esta distribuição tem uma média de amplitude igual a zero, e quanto maior ou menor é a sua amplitude menor é a probabilidade de ocorrência num dado momento.

Ruído branco é aquele cuja média de intensidade ou potência é igual em todas as frequências da largura de banda em questão. Apresenta portanto um espectro de potência contínuo, sempre igual em toda a sua largura de banda. É dominante a altas frequências.

Ruído rosa é também conhecido por ruído  $1/f$ , uma vez que a densidade espectral de potência é inversamente proporcional à frequência. Este ruído decai 3 dB por oitava, e em altas frequências nunca se torna dominante como o branco.

Ruído Browniano é produzido pelo movimento que lhe dá nome e tem uma densidade espectral de  $1/f^2$ , tem portanto mais energia nas baixas frequências do que o ruído rosa. Este ruído decai 6 dB por oitava

Existem diversas fontes de ruído que podem ser classificadas como:

- Determinísticas: repetem-se periodicamente no tempo e o espectro de frequências contem tons puros. Um exemplo é o ruído provocado por máquinas.
- Aleatórias: variam de forma aleatória e nunca se repetem no tempo, o seu espectro contém diversas frequências. Um exemplo é o ruído do vento ou do bater da chuva.
- Impulsivas: são de curta duração, o nível de pressão sonora é relativamente elevado e o seu espectro contem diversas frequências. Um exemplo é o ruído provocado por um disparo de pistola.

Quando o intuito é realizar estudos de ruído e tentar perceber o seu impacto no ouvido, fazem-se medições de longa duração temporal durante os quais a pressão sonora varia. Nestes casos, em que a pressão é variável relativamente ao tempo, define-se o nível de pressão sonora média com base na média do quadrado da pressão.

$$p_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt$$

O nível de pressão sonora – SPL é então:

$$\langle \text{SPL} \rangle = 10 \log \left[ \frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} \right]$$

Ruído equivalente –  $L_{eq}$ , é o valor médio obtido quando o nível de pressão sonora – SPL é calculado com base na curva de ponderação A. Ou seja, o ruído equivalente tem em conta a resposta em frequência do ouvido humano.

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \sum \left( 10^{\text{SPL}/10} \frac{T_i}{T} \right) \right], \text{ onde } T_i \text{ é o intervalo da medição dos valores de SPL.}$$

Ruído máximo –  $L_{max}$ , e ruído mínimo –  $L_{min}$ , são respectivamente o nível máximo e mínimo de pressão sonora medido com base na curva de ponderação A.

$L_{ep,d}$  é o nível de exposição diária a que um trabalhador está sujeito durante um dia de trabalho. São consideradas 8 horas de trabalho diário e calcula-se este valor através da seguinte equação:

$$L_{ep,d} = 10 \log \left[ \sum \left( 10^{\text{SPL}/10} \frac{T_i}{T_0} \right) \right], \text{ onde } T_0 = 8 \text{ horas}$$

Existem decretos-leis e normas que regulam as exposições sonoras na indústria e na comunidade. Na Tabela 4 encontram-se os riscos de danos auditivos para alguns valores de  $L_{eq}$ .

$L_{ep,d}$ [dBA]	Risco	Nível
80	Nulo	Segurança
85	Reduzido	Alerta
90	Considerável	Alarme
115	Elevado	Crítico

Tabela 4 - Classificação dos níveis de exposição diária

Muitas vezes pretende-se saber durante quanto tempo o nível de pressão sonora – SPL, se manteve superior a um determinado valor. Para tal definem-se as quantidades  $L_x$  que indicam o valor de nível de SPL excedido durante x por cento do tempo. As quantidades mais usuais são as  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ , que nos dão os níveis SPL excedidos durante 10%, 50% e 90% do tempo de medição.

#### Aparelhos de medição

Existem diversos aparelhos de medição e análise sonora. Cada um tem uma aplicação específica e os mais comuns são: o sonómetro, o dosímetro e o analisador de frequências.

O sonómetro regista o nível de pressão sonora, ou a intensidade sonora, em decibéis.

O dosímetro acumula os sinais dos ruídos num condensador tornando possível a análise das médias e picos sonoros provenientes da fonte.

O analisador de frequências indica a distribuição do som em frequência.

Contem os filtros de ponderação acima referidos e conta ainda com um circuito de resposta rápida, resposta lenta ou impulsos.

Neste trabalho é utilizado um sonómetro para efectuar medições dos níveis de pressão sonora. Os sonómetros contêm os filtros de ponderação A, B e C para que possam responder ao som de forma semelhante ao ouvido humano. É constituído por cinco blocos:

- Microfone: que converte as variações de pressão sonoras em sinais eléctricos equivalentes
- Pré-amplificador: que amplifica o sinal eléctrico proveniente do microfone
- Detector: que converte o sinal AC (corrente alternada) em DC (corrente contínua)
- Circuito de tempo de resposta: que determina a rapidez com que o sonómetro acompanha as variações dos níveis sonoros
- Dispositivo indicador: que permite a leitura dos valores medidos

O sinal proveniente do microfone, após passar pelo pré-amplificador é convertido, no detector, num nível que pode representar um dos parâmetros da onda sonora. Estes parâmetros podem ser obtidos com recurso ao software do sonómetro.



Figura 8 - Exemplos de sonómetros

Os circuitos de tempo de resposta existem pois as flutuações podem dar origem a dificuldades na leitura dos valores medidos devido à rapidez das variações. Os “tempos de resposta” mas utilizados são designados por *Slow* (S), *Fast* (F) e *Impulse* (I) e traduzem o modo como o parêmetro acompanha as flutuações do sinal medido. A duração normalizada de subida e descida para as contantes S, F e I assim como o tipo de ruído a que são aconselhados encontram-se indicados na Tabela 5.

Resposta	Tempo de Subida	Tempo de Descida	Tipo de Ruído
<i>Slow</i> – S	1s	1s	Determinístico
<i>Fast</i> – F	125ms	125ms	Aleatório
<i>Impulse</i> – I	35ms	1s	Impulsivo

Tabela 5 - Parâmetros dos "tempos de resposta"

Se não existirem indicações quando à escolha dos circuitos de tempos de resposta devem-se seguir as seguintes regras:

- Utilizar *Slow* ou *Fast* sempre que o ruído não tenha carácter impulsivo
- Começar por medir em *Fast* e se a variação de leitura atingir os 5dB mudar para *Slow*
- Utilizar *Impulse* sempre que o ruído tenha carácter impulsivo (impulsos de curta duração)

#### 1.1.5. Psicoacústica

A psicoacústica estuda a percepção do ouvido humano ao som. Este ramo da acústica ocupa-se das respostas psicológicas e fisiológicas que o ser humano tem ao som.

O som mais baixo que o ouvido humano consegue detectar é designado limiar auditivo e corresponde a uma pressão de 20μPa. O som mais alto, a ponto de provocar dor, é designado limiar da dor e corresponde a um valor de pressão de 100Pa.

Em termos de frequências o ser humano consegue detectar sons compreendidos entre os 20Hz e 20kHz, intervalo denominado gama audível. Uma vez que a gama de frequências do som varia entre 1Hz até várias centenas de kHz, frequências abaixo dos 20Hz são denominadas infrasons, e as acima dos 20kHz de ultrasons. Embora seja habitual desprezar estas frequências em estudos de ruído, pensa-se que a exposição a níveis elevados destas frequências possa ter um efeito nocivo no Homem.

O decibel resolve o problema das medidas de intensidade e pressão, mas não corresponde de forma fiel à sensação auditiva do ouvido humano. Como referido anteriormente, a selectividade do ouvido, em particular no que toca às frequências, não é simples e a percepção que temos do som não corresponde fielmente aos fenómenos físicos que lhe dão origem.

A sensibilidade do ouvido não é a mesma para toda a gama audível. O ouvido transforma as pressões sonoras em pressões auditivas mas a sua sensibilidade tem limitações, as frequências nem sempre são interpretadas do mesmo modo e sons com o mesmo nível de intensidade mas frequências diferentes podem não ser percebidos como igualmente intensos. Para estudar a resposta subjectiva do ouvido, utilizam-se curvas isofónicas cuja unidade de medida é o fone. As curvas isofónicas são curvas que têm igual sensação sonora para o ouvido humano. Na Figura 9 pode observar-se as curvas isofónicas compreendidas no intervalo dinâmico do sistema auditivo.

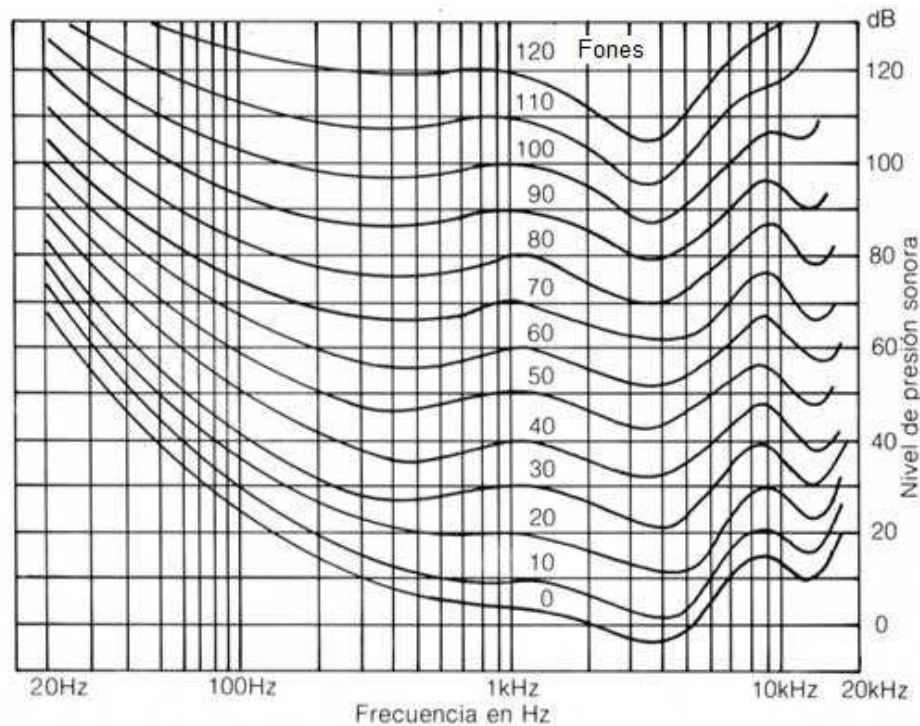


Figura 9 - Curvas isofónicas

Observando o gráfico conclui-se que, por exemplo, 70 fones corresponde a que o ouvinte experiencie uma sensação auditiva de 60dB a 4kHz, mas também uma sensação de 80 dB a 63Hz. O que as curvas isofónicas nos indicam é o nível de pressão sonora que é necessários fornecer para que o ouvinte tenha uma dada sensação a determinada frequência.

É de notar que à medida que aumenta o nível de pressão sonora as curvas são mais planas. O que significa que a dependência da frequência vai diminuindo à medida que aumenta os níveis de pressão sonora. É por isso que em níveis de intensidade sonora mais baixos os últimos sons a serem perceptíveis são os sons a altas frequências – agudos.

As curvas isofónicas são muito utilizadas em audiometria pois permitem relacionar o quão bem o paciente ouve em função da pressão e frequência.

## 1.2. Audiologia

Audiologia é o ramo da ciência que se ocupa do estudo da audição, equilíbrio, assim como da prevenção, identificação, avaliação e consequente reabilitação/habilitação de pessoas com patologias auditiva através da adaptação de aparelhos auditivos e/implantes cocleares. Um dos papéis de um audiologista é determinar se um dado paciente ouve dentro do intervalo dinâmico saudável, e nos casos em que não ouve compreender que estruturas do aparelho auditivo estão afectadas e em que extensão. Para tal os audiologistas fazem uso de diversos testes e exames alguns dos quais serão utilizados neste estudo.

### 1.2.1. Anatomia e fisiologia da audição

A cabeça é composta por uma série de compartimentos formados por osso e tecidos moles. Eles são:

- A cavidade craniana
- Os ouvidos
- As órbitas
- As cavidades nasais
- A cavidade oral

Dada a natureza do trabalho serão apresentados os aspectos da anatomia e fisiologia dos ouvidos. Na Figura 10 podemos observar a cabeça assim como a localização dos compartimentos descritos anteriormente.

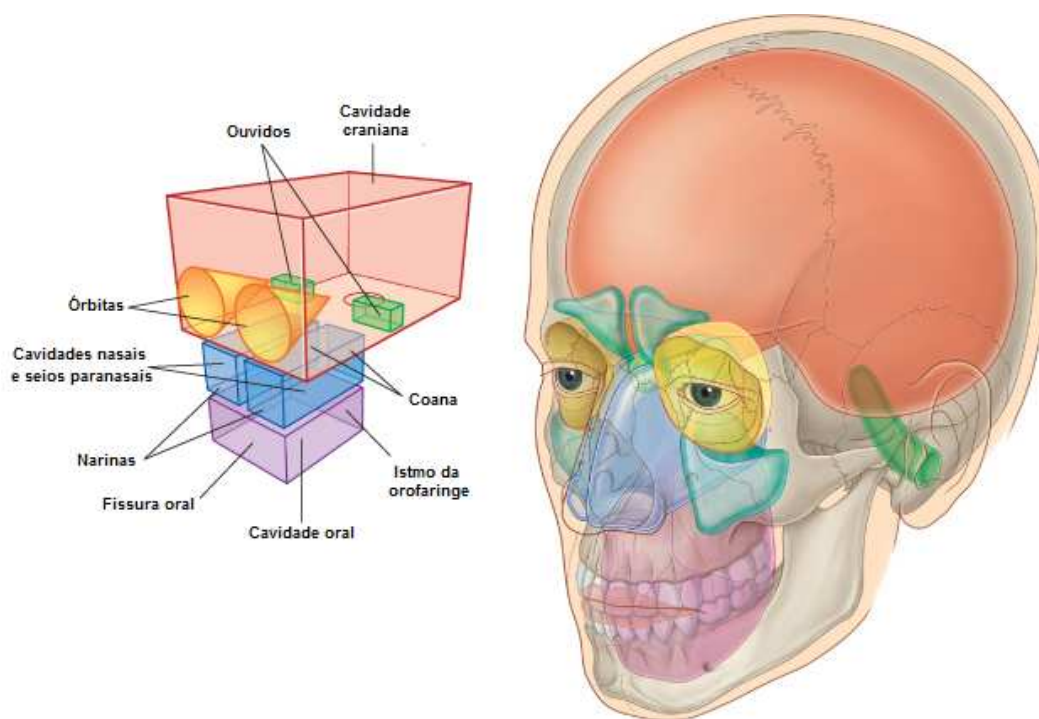


Figura 10 - A cabeça e as suas estruturas



O ouvido é o órgão responsável pela audição e pelo equilíbrio. É constituído por três porções, ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno, que podemos observar na Figura 11. No entanto para o processo auditivo ser completo é necessário fazer-se o transporte das sensações auditivas desde o ouvido interno até ao córtex cerebral, local onde estas são analisadas e interpretadas. Será então também descrita a estrutura que desempenha um papel fundamental nesse transporte, o nervo estato-acústico ou nervo VIII par craniano. Esse transporte é realizado por meio de duas vias, a via eferente e a via aferente.

O sentido auditivo humano é um sistema complexo que consegue captar e compreender ondas sonoras contidas no intervalo de 20Hz a 20kHz, com uma resolução de 0,2%, o que significa que o ouvido humano consegue discernir entre dois tons de frequências 1000Hz e 1002Hz.

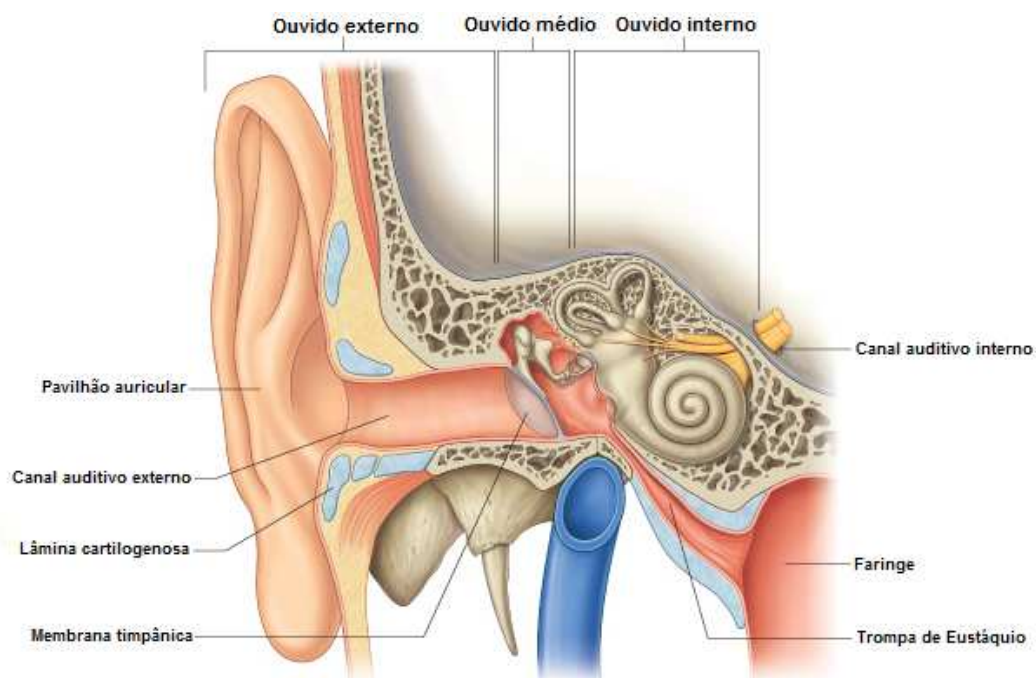


Figura 11 - As três porções do ouvido

O ouvido externo é constituído pelo pavilhão auricular e pelo canal auditivo externo, e comunica com o ouvido médio pela membrana timpânica. Esta porção do ouvido está em contacto com o meio ambiente e permite a captação e amplificação dos sons.

O ouvido médio é formado pela caixa do tímpano, delimitada por seis paredes, e três ossículos: o martelo, a bigorna e o estribo. Estes três ossículos encontram-se articulados entre si e ligados às paredes da caixa do tímpano através de ligamentos e dos músculos do martelo e do estribo. Esta porção do ouvido transfere eficientemente essa energia sonora para o líquido existente no ouvido interno.

O ouvido interno é constituído por diversas cavidades que formam o labirinto ósseo no interior do qual existe o labirinto membranoso. O labirinto ósseo é constituído por três porções: uma média contendo o vestíbulo, uma posterior contendo os canais semicirculares e uma anterior, contendo a cóclea e o canal auditivo interno. O labirinto membranoso é constituído por partes moles pertencentes às três cavidades do labirinto ósseo. São elas uma porção média – o vestíbulo membranoso, uma porção posterior – os canais semicirculares membranosos e uma porção anterior – a cóclea membranosa ou canal coclear. Esta porção interna do ouvido converte o sinal mecânico recebido em sinal eléctrico sobre a forma de impulsos que envia para o cérebro para serem interpretados. A porção posterior do ouvido interno é responsável pela manutenção do equilíbrio.

### Ouvido externo

É a parte mais externa do ouvido, que se consegue observar a olho nu, e encontra-se situado entre a parte lateral da cabeça e a membrana timpânica.

É constituído por dois segmentos, uma parte que é projectada do lado da cabeça – o pavilhão auricular, e um canal que se dirige para o interior da cabeça – o canal auditivo externo.

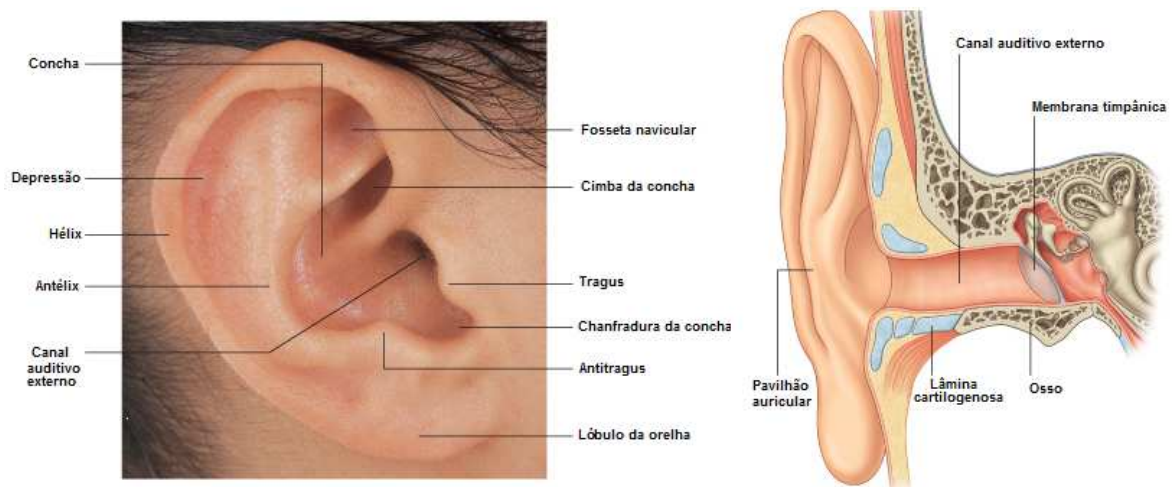


Figura 12- Ouvido externo

### Pavilhão auricular

O pavilhão auricular situa-se na parte lateral da cabeça e intervém no processo de captura do som. Consiste em cartilagem coberta por pele e apresenta um padrão de variadas elevações e depressões único em cada indivíduo. Na Figura 12 podemos observar essas elevações e depressões. O lóbulo da orelha é a única porção que não contém cartilagem.

### Canal auditivo externo

O canal auditivo externo estende-se da parte mais profunda da concha do pavilhão auricular até à membrana do tímpano, o seu comprimento é de aproximadamente 2.5cm e as suas paredes são constituídas por cartilagem e osso. Em toda a sua extensão o canal é coberto por pele, algumas porções contêm pelos e glândulas que produzem cerúmen (vulgo cera). O seu diâmetro é variável, sendo maior na zona lateral. O canal auditivo externo não tem um percurso direito, ele dirige-se obliquamente para dentro, para diante e para baixo descrevendo uma curva cuja concavidade olha para baixo e para trás. Posto isto, quando se pretende observar o canal e a membrana timpânica, é útil mover a orelha e/ou o lóbulo em várias direcções até se conseguir obter um bom ângulo de observação.

As ondas sonoras presentes no campo livre aéreo atingem o ouvido externo onde captadas pelo pavilhão auricular. Este actua como um funil direccionando as ondas para dentro do canal auditivo onde se propagam até atingirem a membrana timpânica provocando a vibração da mesma. O canal auditivo serve ainda de caixa de ressonância amplificando o som captado.

### Membrana timpânica

A membrana timpânica separa o canal auditivo externo do ouvido médio. Trata-se de uma membrana fina, transparente e regularmente circular. E é constituída por tecido conjuntivo com pele na face exterior e membrana mucosa na face interior. No embrião a membrana encontra-se em posição horizontal, no feto forma um ângulo aberto de 30° com o plano horizontal e no adulto um ângulo de 45°. Está fixa à porção timpânica do osso temporal através de anel fibrocartilaginoso. Observando a membrana timpânica com um otoscópio, verifica-se que a sua cor é acinzentada, e que é escavada em forma de funil apresentando uma depressão central denominada de umbo da membrana timpânica. Esta depressão é provocada pela sua ligação a um ossículo do ouvido interno – o martelo. Partindo para cima e para diante do umbo observa-se uma porção desse osso, o cabo do martelo. E partindo para baixo e para diante observa-se um cone de luz resultante da reflexão da luz incidente na membrana. A este cone de luz chama-se triângulo luminoso de Politzer. Na Figura 13 encontra-se uma representação esquemática da membrana timpânica, e uma fotografia da membrana obtida por otoscopia.

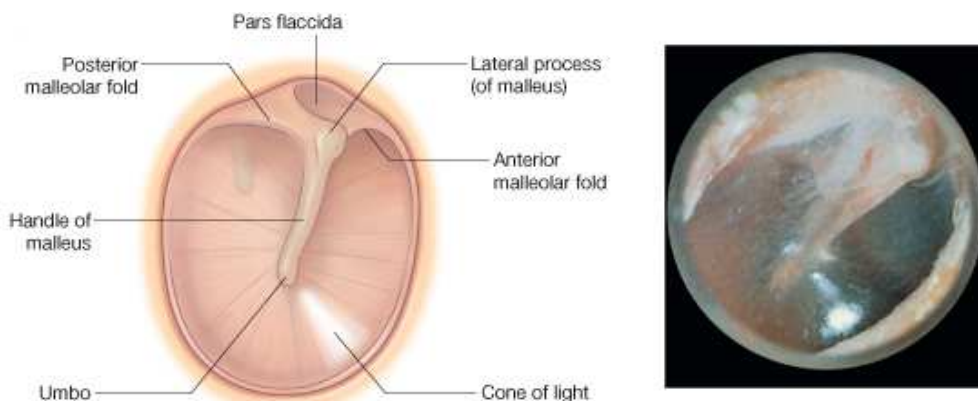


Figura 13 - Membrana Timpânica

## Ouvido médio

O ouvido médio é uma cavidade no osso temporal constituída pela caixa do tímpano e situada entre a membrana timpânica e a parede lateral do ouvido interno. A sua função é transmitir as vibrações da membrana timpânica até ao ouvido interno. Para tal conta com a ajuda de uma cadeia de três ossículos que se encontram ligados mas com mobilidade e que preenchem o ouvido médio. Esses ossículos são (de fora para dentro) o martelo, que se encontra ligado à membrana timpânica, a bigorna e o estribo que se encontra ligado à janela oval. Na

Figura 14 encontra-se uma imagem do ouvido médio e destes três ossículos.

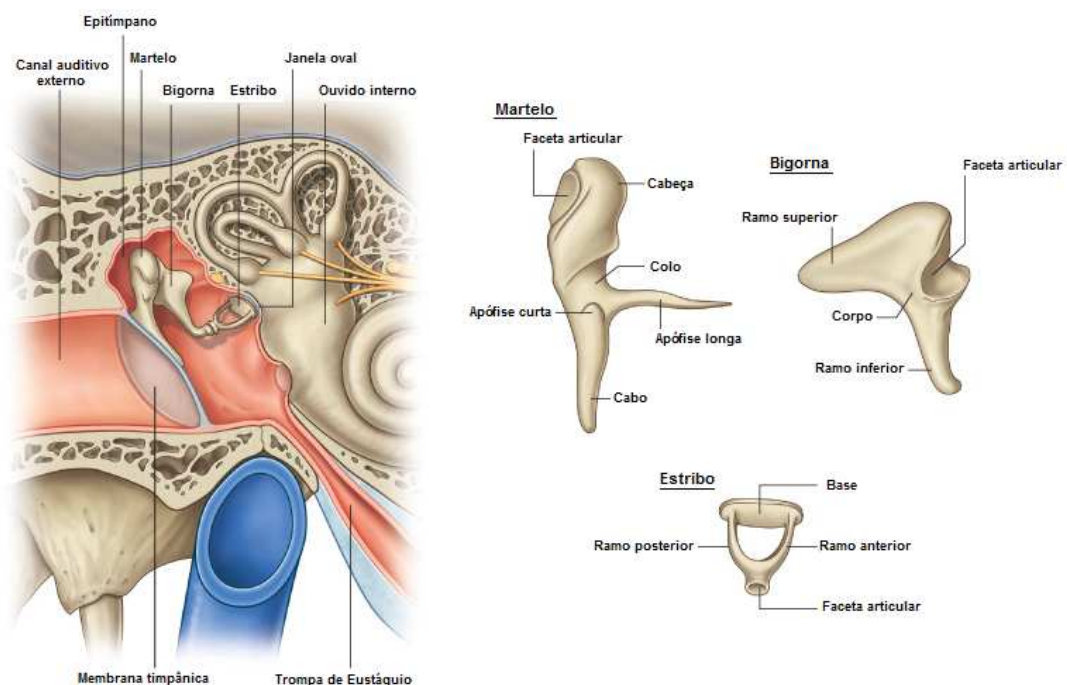


Figura 14 - Ouvido médio

Existem duas estruturas, muito importantes, associadas às paredes da caixa do tímpano, são elas a janela oval e a janela redonda. A janela oval encontra-se atrás e por cima do promontório e é encerrada pela platina do estribo. A janela redonda encontra-se atrás e por baixo do promontório e faz comunicar a caixa do tímpano com a rampa timpânica da cóclea.

### Mastóide e Trompa de Eustáquio

A cavidade da mastóide é uma colecção de espaços com ar (células mastoideias) que comunicam entre si e com uma cavidade denominada antro mastoideu. O antro está ligado ao ouvido médio através do canal tímpano-mastoideu. E toda esta estrutura pertence ao osso temporal. A trompa de Eustáquio trata-se de um tubo que liga o ouvido médio à faringe

e equilibra a pressão em ambos os lados da membrana timpânica. Está ligado à parede anterior do ouvido médio.

Devido à ligação entre a membrana timpânica e o ossículo martelo, a vibração desta membrana movimento à cadeia de ossículos existente no ouvido médio. Esse movimento, resultante da pressão sonora, propaga-se terminando no último ossículo da cadeia, o estribo cujo movimento produz um sinal de pressão sonora na cóclea.

Os três ossículos movem-se como uma unidade, amplificando a energia ao mesmo tempo que a transmitem da membrana timpânica para a janela oval. O aumento de energia consequente deste movimento é de um factor de 1,31 para 1. A energia sonora também é aumentada pela diferença de área entre a membrana timpânica e a base do estribo por um factor de 14 para 1. Multiplicando estes dois factores obtém-se um valor de 18,4 que traduz o aumento total de energia sonora provocado pela cadeia de ossículos. O que se traduz num factor de amplificação de 25,5dB na escala SPL.

Os músculos do estribo e do martelo contraem-se em resposta aos sons altos. Esta contração do músculo estapedíu resulta num aumento da rigidez da cadeia ossicular e consequente redução da energia transmitida através da janela oval. A transmissão de som para o ouvido interno é então reduzida de modo a proteger as estruturas sensíveis da cóclea. Este fenómeno é denominado reflexo acústico e permite reduzir o som em cerca de 20 a 30dB. Ocorre essencialmente a baixas frequências, acima de 2000Hz o reflexo acústico é mais ou menos desprezável.

O ouvido médio actua como um transdutor alterando e amplificado a energia recolhida no ouvido externo, e transferindo-a para os fluidos da cóclea. Este último passo trata-se um processo de transformação de impedâncias o que significa que se não existisse ouvido médio a secção de colecta da janela oval seria menor em cerca de 15 a 30 dB devido á incompatibilidade entre as impedâncias do ar e do fluido coclear.

### Ouvido interno

O ouvido interno situa-se no interior do osso rochedo. É constituído por uma série de cavidades ósseas, que juntas formam o labirinto ósseo, e no interior do qual existem cavidades mais pequenas e membranosas cujo conjunto constitui o labirinto membranoso. As cavidades do labirinto membranoso têm no seu interior um líquido, a endolinfa, e entre os labirintos membranoso e ósseo existe em outro líquido, a perilinfa. Estas estruturas estão situadas entre o ouvido médio e o canal auditivo interno. E transmitem informações sobre o balanço e a audição ao cérebro. Na

Figura 15 podemos observar a esquematização do ouvido interno e suas estruturas.

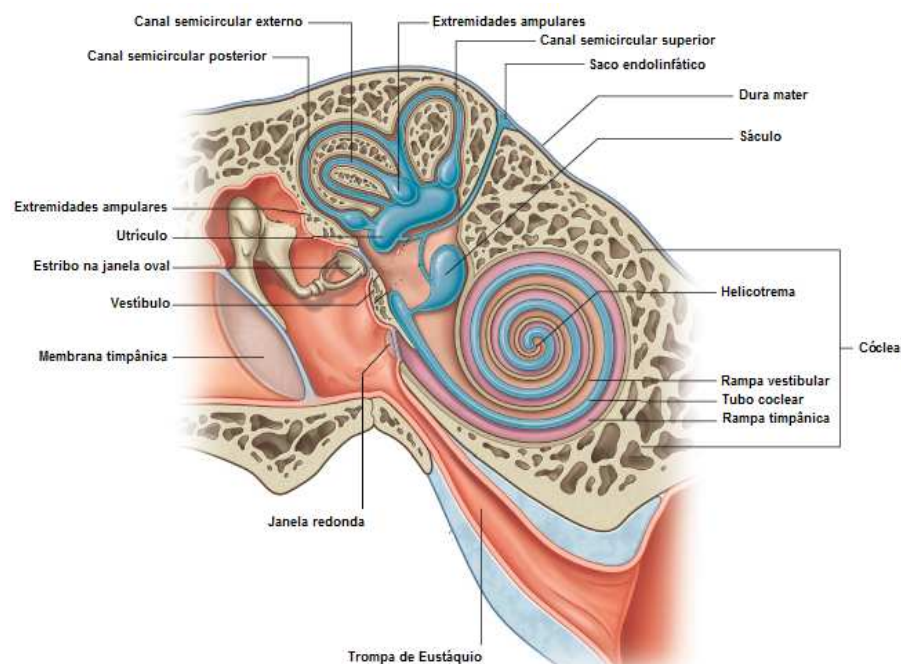


Figura 15 - Ouvido interno

### Labirinto ósseo

O labirinto ósseo é constituído por três porções. Uma média da qual faz parte um vestíbulo, uma posterior que contém três canais semicirculares, e uma anterior onde se encontra a cóclea e o canal auditivo interno.

O vestíbulo é a parte central do labirinto ósseo, e é constituído por seis paredes. A parede externa corresponde à caixa do tímpano e é nela que se encontra a janela oval. A parede interna relaciona-se com o canal auditivo interno. As restantes paredes comunicam com a cóclea e com os canais semicirculares.

A cóclea situa-se adiante da parede anterior do vestíbulo e apresenta-se como um tubo contornado em espiral que comunica, atrás e em baixo, com a cavidade do vestíbulo ósseo. Comunica ainda com a cóclea membranosa (ou canal coclear) como veremos mais à frente.

### Labirinto membranoso

O labirinto membranoso é um sistema contínuo de canais e vesículas existente dentro das três cavidades do labirinto ósseo. É constituído por canais semicirculares membranosos, vestíbulo membranoso e por a cóclea membranosa ou canal coclear.

O vestíbulo membranoso tem duas vesículas, o utrículo e o sáculo, que se encontram no vestíbulo ósseo.

Os canais semicirculares membranosos são três e encontram-se no interior dos canais semicirculares ósseos.

A cóclea membranosa ou canal coclear ocupa uma posição central na cóclea do labirinto ósseo, passando através do osso temporal para a cavidade craniana, dando origem a uma



ligação com o espaço subaracnoideu. É constituído por uma parede inferior, a membrana basilar, e por uma parede anterior fibrosa, a membrana de Reissner. Sobre a membrana basilar repousa o órgão da Corti (ou espiral) que contém as células sensoriais auditivas.

O canal coclear é órgão da audição, e os canais semicirculares membranosos, o utrículo e o sáculo são os órgãos do balanço. O utrículo responde à aceleração vertical e centrífuga, ao passo que o sáculo à aceleração linear. Os receptores dos canais semicirculares respondem ao movimento em qualquer direcção com o balanço.

Como referido anteriormente o estribo está acoplado à janela oval, logo quando se move provoca uma vibração desta janela. Do outro lado da janela encontra-se a cóclea que contém o aparelho de transdução do ouvido, através do qual a energia sonora é transformada em actividade eléctrica das células nervosas. Deste modo ao vibrar a janela oval provoca a movimentação do líquido presente na cóclea, que por sua vez provoca a vibração da membrana basilar e consequentemente a vibração do órgão da Corti. Este órgão é formado por milhares de células ciliadas que se encontram na porção apical com contacto com a membrana tectorial gelatinosa. Cada vez que o líquido presente na membrana basilar e órgão da Corti se move, gera uma força de cisalhamento na base das células ciliadas provocando o movimento lateral dos cílios que estão em contacto com a membrana tectorial. Esse movimento cria uma corrente eléctrica alternada denominada potencial coclear ou efeito de Wever-Bray. As ondas de compressão são deste modo transformadas em impulsos nervosos. Na cóclea a energia hidromecânica é transformada em energia bioeléctrica, esta é a quarta mudança do tipo de energia da mensagem sonora.

O nervo coclear nasce na cóclea, ao nível das células auditivas do órgão da Corti. O nervo vestibular encontra-se dividido em três nervos vestibulares com diferentes origens. São eles o nervo vestibular superior que tem origem no utrículo, sáculo e em dois canais semicirculares. O nervo vestibular inferior que tem origem no sáculo. E o nervo vestibular posterior que tem origem no canal semicircular posterior.

Ao alcançar o fundo do canal auditivo interno estes unem-se e formam um tronco comum, o nervo estato-acústico ou VIII par craniano. O nervo estato-acústico atravessa o canal auditivo interno, acompanhado pela artéria auditiva interna. Posteriormente este nervo encontra os nervos, facial e intermédio de Wristberg, e lado a lado estes três nervos alcançam a cavidade craniana atravessando-a até penetrarem no tronco cerebral.

Como as células ciliadas estão sinapticamente acopladas às fibras do nervo auditivo o potencial eléctrico formado na cóclea activa respostas nos neurónios presentes nesses nervos através de neurotransmissores. Essas respostas, ou impulsos, saem da cóclea por via das fibras nervos, viajando ao longo do nervo VIII par craniano e restante via auditiva em direcção ao cérebro. Deste modo o córtex cerebral “ouve” a vibração que atingiu a membrana timpânica.

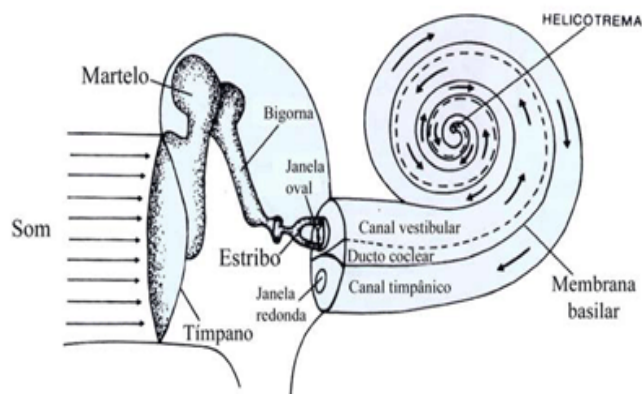


Figura 16 - Resumo da fisiologia auditiva desde o ouvido externo ao interno

Além da conversão de energia sonora em impulsos eléctricos, a cóclea tem ainda a importante função de análise de frequências. Esta função permite separar sons complexos nas suas componentes de frequência. É uma grande vantagem no ser humano pois permite a compreensão de sons complexos como a fala e a música. O processo pelo qual a cóclea analisa as frequências é análogo à aplicação da transformada de Fourier referida no subcapítulo 1.1.1.

Determinadas células ciliadas cocleares respondem a determinadas frequências sonoras, ou seja, a sensibilidade de uma célula ciliada é alterada com a frequência do som. E o número de impulsos nervosos produzidos em dada porção da cóclea é determinado pela intensidade do som nessa frequência. Deste modo tanto a frequência como a amplitude de um som afectam o número de impulsos nervosos iniciados por uma só célula ciliada coclear e o número de células que inicia impulsos.

A análise de frequências realizada pela cóclea é essencial para todo o processo que se segue no cérebro uma vez que os centros auditivos centrais encontram-se organizados por frequências. E pensa-se que as maiores propriedades da percepção do som incluem a análise de frequência como um componente fundamental.

Foi visto no capítulo 1.1.2 que existem dois tipos de células ciliadas as externas e as internas. As células internas são as responsáveis por transmitir a energia sonora sob forma de energia eléctrica para o nervo auditivo, funcionam como um transdutor, e as células ciliadas externas são responsáveis por aumentar a sensibilidade auditiva, funcionam como um amplificador onde cada célula amplifica numa dada frequência. Estas células aumentam a selectividade de frequência da cóclea e comprimem o seu intervalo dinâmico. Quando as células ciliadas externas se encontram danificadas a sensibilidade auditiva decresce aproximadamente 40dB. Na Figura 17 encontra-se uma imagem que descreve este funcionamento das células ciliadas.



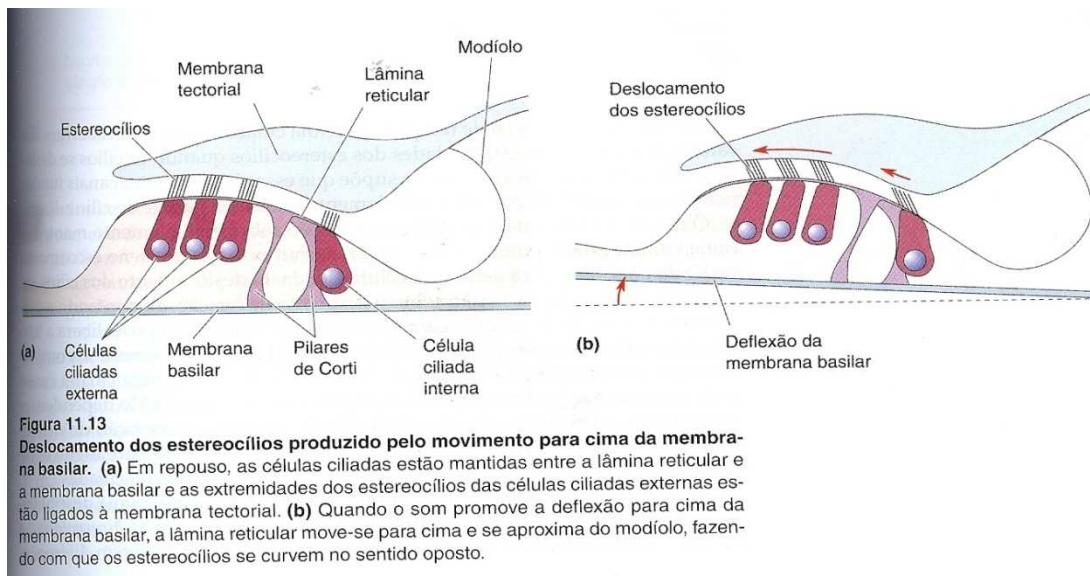


Figura 17 - Células ciliadas cocleares

### Vias acústicas ou auditivas

O conjunto de formações percorridas pelo influxo nervoso provocado pelos sons constitui as vias acústicas ou vias auditivas. Como referido anteriormente as sensações auditivas presentes ao nível da cóclea membranosa no órgão da Corti são transmitidas até ao córtex cerebral para sua análise e interpretação. Assim sendo as vias auditivas compreendem um aparelho receptor, uma via de transmissão e um centro de percepção. Consideram-se duas vias auditivas, a via eferente e a via aferente.

### Aparelho receptor

É constituído por células sensoriais auditivas presentes no órgão de Corti existente na cóclea membranosa. Essas células podem ser ciliadas internas ou ciliadas externas.

As células ciliadas internas encontram-se dispostas numa só fila, ao passo que as células ciliadas externas estão dispostas em três ou quatro filas. Por baixo das células sensoriais auditivas encontram-se as células de sustentação de Deiters que providenciam suporte. Por cima delas existe uma membrana tectorial de Corti constituindo uma camada gelatinosa.

### Via de transmissão

A via de transmissão é composta por quatro neurónios colocados em fila desde o ouvido interno até ao córtex cerebral. As dendrites do primeiro neurónio articulam-se com as células ciliadas e dirigem-se para o fundo do canal auditivo interno onde forma o nervo coclear. Os três neurónios seguintes estabelecem a ligação até aos neurónios do córtex cerebral.

### Centro de percepção

Encontram-se no córtex cerebral e são dois, o centro auditivo primário e o centro auditivo secundário ou cortical de audição.

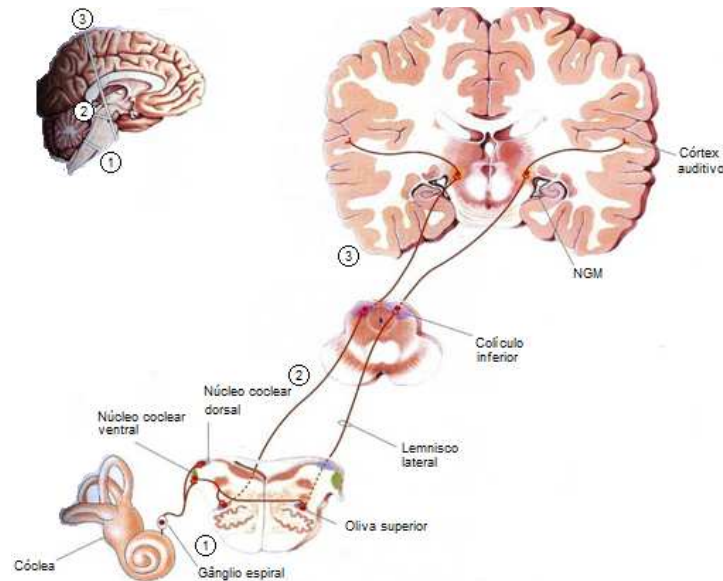


Figura 18 - Sistema auditivo do aparelho receptor ao centro de percepção

### Vias aferente e eferente

A via aferente é constituída por neurónios cujo corpo celular se encontra no gânglio espiral, e é responsável pelo transporte da informação eléctrica das células ciliadas para o cérebro. A via eferente é constituída pelos axónios dos neurónios do cérebro que se estendem até à cóclea, e é responsável pelo controlo central do processo de transdução efectuado na cóclea.

Na via aferente existem dois grupos de neurónios denominados tipo I e de tipo II. Os neurónios de tipo I formam cerca 90 a 95% da população, e inervam as células ciliadas internas. Cada neurónio inerva apenas uma célula e cada célula recebe entre 10 a 20 fibras do tipo I. A conexão entre as duas é feita através de sinapses *standard* que permitem a transmissão dos impulsos eléctricos desde as células ciliadas até às dendrites destes primeiros neurónios auditivos. Estes neurónios pertencem ao nervo coclear que por sua vez se junta ao nervo vestibular formando o nervo VIII par craniano. Esta é a principal via de entrada da informação auditiva no cérebro. Os neurónios de tipo II formam os restantes 5 a 10% da população dos neurónios do gânglio espiral e inervam as células ciliadas externas.

A via eferente vai do cérebro à cóclea e também tem um papel importante na percepção do som, embora este ainda não seja totalmente compreendido. As sinapses da via eferente ocorrem nas células ciliadas externas e em dendrites abaixo das células ciliadas internas.

### 1.2.2. Exames audiológicos

Existem diversas técnicas que permitem avaliar a integridade do aparelho auditivo. Neste trabalho são utilizadas duas técnicas de avaliação auditivo, os exames de otoemissões acústicas de produtos de distorção e os exames de potenciais evocados.

O primeiro mede a integridade da cóclea ao passo que o segundo mede a transmissão dos impulsos eléctricos auditivos ao longo do tronco cerebral.

#### Otoemissões acústicas

Otoemissões acústicas – OEA, são sons captados no canal auditivo externo, emitidos pelo ouvido interno espontaneamente ou após estimulação deste por um som teste. São produzidos pelo movimento das células ciliadas externas da cóclea e podem ser de três tipos:

- OEA espontâneas
- OEA evocadas transitórias
- OEA evocadas produtos de distorção

As células ciliadas externas possuem contractilidade que se transmite aos líquidos endolinfáticos e perilinfáticos, levando ao aparecimento de uma “onda viajante retrógrada” que se movimenta da janela oval ao canal auditivo externo onde pode ser captada por equipamento adequado. Embora a amplificação coclear produzida pelas células ciliadas externas possa ser tão elevada como 40dB a energia acústica que chega ao canal auditivo sob o nome de OEA, tem normalmente entre 0 a 15dB.

Para obter OEA evocadas aplica-se um estímulo acústico curto ao ouvido e recolhe-se o som emitido no canal auditivo. Sabemos que o som recolhido é uma OEA evocada e não um reflexo acústico passivo do estímulo pelas seguintes razões: o som recolhido ocorre no canal auditivo 20ms após o estímulo, este período é demasiado longo para se tratar de um reflexo acústico. A resposta recolhida está relacionada com o estímulo de um modo não linear e se fosse uma simples reflexão acústica a resposta seria linear. Não se consegue recolher a emissão em ouvidos com células ciliadas externas danificadas.

Neste estudo medem-se OEA evocadas produtos de distorção – DPOEA. As DPOAE são resposta a um estímulo composto por dois tons puros primários de frequências diferentes,  $f_1$  e  $f_2$ , apresentados simultaneamente. São testadas diversas frequências geralmente situadas entre os 500 e os 8000Hz e com um rácio  $f_2/f_1 = 1,2$ . As intensidades destas frequências primárias são moderadas e semelhantes, geralmente 65dB para  $f_1$  e 55dB para

$f_2$ , ou 65dB para as duas frequências. Deste modo consegue-se obter diversas DPOEA com frequências que se relacionam matematicamente com as frequências primárias.

Em aplicações clínicas a mais estudada é a frequência  $2f_1-f_2$  abaixo dos tons primários (denominada diferença cúbica) que é detectada em quase todos os ouvidos normais.

Para realizar uma avaliação de DPOEA insere-se uma sonda no canal auditivo que contém um altifalante e um microfone miniaturas. A sonda gera o estímulo no canal que vai viajar até atingir a cóclea. Aí o estímulo encontra as células ciliadas externas e estas células produzem uma DPOEA como resposta ao estímulo. É de lembrar que diferentes células ciliadas externas respondem ao estímulo de diferentes frequências. Deste modo os exames de diagnóstico de DPOEA permitem perceber para que frequências as células ciliadas se encontram danificadas. As DPOEAs produzidas fazem o caminho inverso do estímulo e chegam sob a forma de onda sonora ao canal auditivo onde é recolhida e gravada pelo microfone existente na sonda.

O sinal recolhido é submetido a aquisição temporal. É feita uma análise espectral da aquisição da onda. E a energia obtida na frequência apropriada é considerada DPOEA, ao passo que a energia nas outras frequências é classificada como “ruído”. Toda esta avaliação é realizada automaticamente pelo equipamento de OEA. Os valores de amplitude das DPOEA são comparados com valores normativos e o resultado é apresentado sobre forma de uma representação gráfica da amplitude das DPOEA em função das frequências testadas, o que nos dá a avaliação dos produtos de distorção nesse intervalo de frequências. São também indicados no gráfico os níveis sonoros de ruído ambiental detectados durante a realização do teste.

Um equipamento de OEA faz uma calibração rápida antes de recolher os dados. De seguida verifica se estão presentes OEA de confiança, isto é, se as OEA gravadas excedem o ruído ambiental em pelo menos 6dB para a frequência testada. Só após esta verificação é que procede à gravação e análise dos sinais recolhidos.

Existem inúmeros factores que podem influenciar o teste de DPOEA, entre eles encontram-se o ruído acústico ambiental, o ruído fisiológico causado pelo paciente (proveniente da sua respiração e/ou movimento), factores técnicos e a presença de cerúmen, vernix ou resíduos no canal auditivo externo.

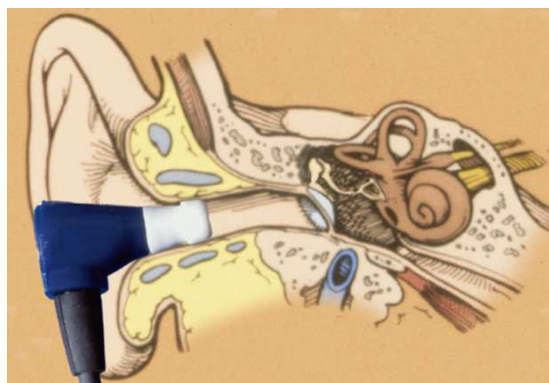


Figura 19 - Sonda de OEA e aparato auditivo

As vantagens dos testes de DPOAE são:

- Dispensa colaboração activa por parte do paciente, significando que o exame não é afectado pela motivação, atenção ou *status* cognitivo do paciente
- É uma técnica não invasiva
- Dispensa a maturidade da cóclea, podendo por isso ser aplicado a recém-nascidos de termo e pré-termo
- É de fácil e rápida execução, tornando-o uma ferramenta ideal para rastreios
- Consegue detectar lesões precoces
- Tem um preço acessível
- É um método sensível e específico

As desvantagens são:

- Está dependente da integridade do canal auditivo externo e ouvido médio
- Apenas faz uma avaliação qualitativa da cóclea
- Não se pode utilizar quando existe patologia exsudativa do ouvido médio
- Apenas testa a via auditiva até à cóclea, permitindo apenas concluir a normalidade do ouvido médio e cóclea
- Não permite a determinação de limiares auditivos

Neste trabalho é utilizado um equipamento de rastreio auditivo com base nas DPOEA. Os resultados possíveis de rastreio são *Pass* e *Refer*. Este resultado permite atestar a normalidade da cóclea e ouvido médio, não havendo perda auditiva associada a estas estruturas. Um resultado *Refer* não permite a confirmação de perda auditiva, apenas indica que esse paciente deverá ser submetido a uma avaliação audiológica profunda.

Em suma o exame de rastreio de DPOEA é uma técnica rápida e não invasiva que requer poucos minutos por ouvido e permite de um modo simples e objectivo testar se há dano nas células ciliadas externas (uma vez que o exame avalia as OEA que têm origem nestas células).

### Potencias evocados auditivos

Resposta Auditiva do Tronco Cerebral ou *Auditory Brainstem Response* – ABR, são potenciais eléctricos auditivos, produzidos por estímulos sonoros do tipo *click* ou *tone-burst*. Estes potenciais deslocam-se pela via auditiva e sistema nervoso central, podendo ser medidos com recurso a eléctrodos colocados na superfície craniana. Permitem avaliar a integridade da via auditiva até ao colículo inferio, e têm aplicação audiológica e otoneurológica.

A energia sonora é transformada em energia eléctrica na cóclea. Todos os eventos pós cóclea são eléctricos e vão dar origem a uma corrente que se desloca desde o corpo da

cóclea até ao córtex cerebral. Para cada som recolhido no ouvido externo vai haver uma resposta eléctrica correspondente, resultante do percurso que começa na cóclea e segue pelo nervo auditivo até ao cérebro. Estas respostas evocadas podem ser medidas e utilizadas para estudar a audição de uma pessoa através do exame audiológico ABR

Todas as respostas evocadas são pequenas e requerem que se faça uma média de modo a diminuir o som ambiental.

Para realizar o exame são colocados uns auscultadores no paciente que permitem a aplicação de um estímulo *click* ou *tone-burst*. São também colocados 3 eléctrodos na superfície craniana, um eléctrodo é colocado na testa e os restantes dois sobre o osso mastoide de cada ouvido. A amplitude recolhida é apresentada num gráfico de amplitude em função do tempo. Os picos da onda obtida são numerados de I a V. A onda de resposta ocorre 10ms após o estímulo, este intervalo é justificado pelo facto de o estímulo levar 1ms a deslocar-se da fonte sonora ao ouvido, ficar 2ms dentro da cóclea e levar mais alguns milissegundos a chegar da cóclea ao tronco cerebral. O estímulo tem geralmente uma intensidade entre 70 a 90dB.

Cada pico de onda está associado a uma porção da estrutura auditiva:

- Onda I: gerada pela porção periférica do nervo VIII par craniano
- Onda II: gerada pelo núcleo coclear
- Onda III: gerada pelo complexo olivar superior
- Onda IV: gerada gerara pelo Lemnisco lateral
- Onda V: gerada pelo colículo inferior

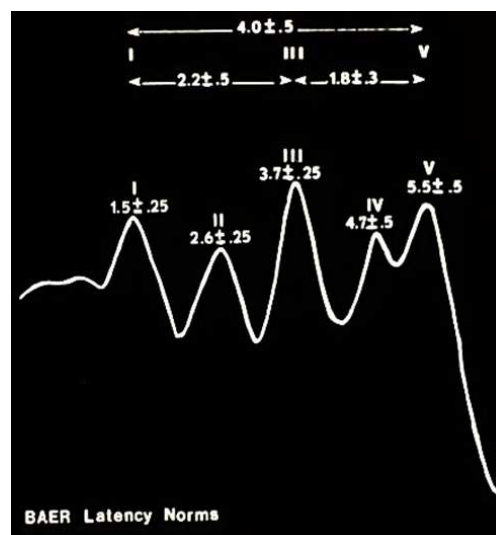


Figura 20 - Gráfico exemplo de um exame ABR

As vantagens dos testes de ABR são:

- Trata-se de um método muito sensível e específico
- Permite testar indivíduos não cooperantes
- Patologias do canal auditivo externo ou ouvido médio não impedem a realização do exame
- São aplicáveis em qualquer fase da vida

As desvantagens são:

- Exige uma grande manipulação do doente, uma vez que é necessário colocar eléctrodos e auscultadores ou sondas
- Podem sofrer interferências eléctricas
- Necessita interpretação por parte de um técnico treinado

Existem diversos equipamentos de diagnóstico que utilizam a medição destes potenciais eléctricos auditivos, com alguns desses equipamentos podem-se obter rectas como a da Figura 20 que permitem estudar estruturas do processo auditivo. Neste estudo vai ser utilizado um equipamento de rastreio com base nos potenciais evocados auditivos que não nos fornece tanta informação. Trata-se de um equipamento que recolhe dados através dos 3 eléctrodos que lhe permitem calcular o *Point Optimum Variance Ratio* – POVR da resposta ABR. O POVR do sinal recolhido é comparado com critérios *standard* existentes no equipamento. Tal como no rastreio de DPOEA, o resultado dessa comparação ou é *Pass* ou *Refer*. Na maioria dos equipamentos um resultado *Pass*, é obtido quando o POVR é 3,5 após um número mínimo de 1500 estímulos, e um resultado *Refer* é obtido quando o POVR é inferior a 3,1 após duas séries com um número mínimo de 6144 estímulos.

Em suma uso de rastreio ABR permite uma imagem mais abrangente da perda auditiva uma vez que estuda o processo auditivo na sua totalidade. Permite ainda despistar resultados falsos negativos do exame de rastreio OEA.

### Equipamentos de Rastreio

Os equipamentos de rastreio, estes fazem uma avaliação preliminar de forma rápida e simples, e com resultados segundo o binómio *Pass/Refer*. Este tipo de equipamentos apresenta as seguintes vantagens:

- Não necessitam interpretação por técnico treinado
- Permitem rastreio barato e rápido de largas faixas de população

E apresenta as seguintes desvantagens:

- Apenas permitem afirmar a normalidade
- Quando o indivíduo testado “falha”, este rastreio terá de ser complementado por técnicas de diagnóstico
- Não podem ser utilizados isoladamente sem o apoio de uma Unidade de Audiologia



## 2. Descrição dos alvos de estudo

### 2.1. Recém-nascidos

Recém-nascido é o nome dado a um bebé nos primeiros 28 dias de vida; a uma criança com idade compreendida entre os 28 dias e os 12 meses chama-se lactente.

Uma gravidez humana dura em média 40 semanas, ou seja, um feto passa 40 semanas em crescimento e desenvolvimento dentro do útero materno. Este período é chamado de idade gestacional e é essencial na sua preparação para o mundo exterior. O período gestacional permite ao feto desenvolver os mecanismos necessários para lidar com os desafios de viver fora do útero. No entanto, muitas vezes o feto nasce antes de se completarem as 40 semanas de gestação.

Diz-se que um RN é de termo quando nasce entre as 37 e as 41 semanas de idade gestacional. O feto humano necessita desse tempo para crescer e se desenvolver dentro do útero materno e atingir a maturidade suficiente para lidar com os desafios da vida extra uterina. No entanto, muitas vezes o feto nasce pré-termo ou seja, antes de se completarem as 37 semanas de gestação.

Os RN que nascem pré-termo podem ser muito diferentes uns dos outros no que respeita à maturidade. Por isso dentro deste subgrupo ainda se classificam os RN em pré-termo limiar – 34 a 36 semanas de gestação; e grande pré-termo – menos de 28 semanas de gestação. Existe ainda a divisão por grupos ponderais: baixo peso – peso ao nascer <2500g; muito baixo peso – peso ao nascer <1500g; extremo baixo peso – peso ao nascer <1000g.

#### Recém-nascidos pré-termo e as suas complicações

Um RN pré-termo nasce com imaturidade nos seus órgãos e sistemas o que o torna mais vulnerável a determinadas doenças e também mais sensível a determinados factores externos como a luz, a temperatura e o ruído.

Quase todos os RN pré-termo requerem algum tipo de assistência médica de suporte depois do nascimento, o que nem sempre significa que tenham algum problema - simplesmente encontram-se “indevidamente” fora do útero materno sem estarem preparados para isso. No útero materno o feto encontra-se protegido das diferenças de temperatura, contactos físicos e com os níveis nutricionais e de oxigénio correctamente assegurados. No meio extrauterino o ambiente é muito diferente. O recém-nascido tem de usar o aparelho respiratório e respirar ar para obter oxigénio, tem de usar o aparelho

digestivo para obter a nutrição necessária ao seu crescimento e desenvolvimento e está susceptível a valores de temperatura mais baixos.

Os pulmões são o último órgão a atingir maturidade. Por esta razão, os problemas respiratórios são uma das complicações mais comuns nos RN pré-termo. A sua incidência e gravidade é inversamente proporcional à idade gestacional. A grande maioria dos RN pré-termo necessita de suporte respiratório para sobreviver. Esse suporte pode ser mais ou menos invasivo de acordo com a situação clínica do doente. Como já foi referido anteriormente esse suporte ventilatório é extremamente ruidoso e o intuito deste estudo é perceber a influência desse ruído nas células cocleares do RN. Muitos dos RN que fazem uso de suportes ventilatórios são RN pré-termo, é possível fazer uma avaliação da integridade da função coclear porque o sistema auditivo desenvolve-se ao quarto mês de gestação, o que significa que mesmo nos RN pré-termo existem OEA.

## **2.2. Unidade de Cuidados Intensivos Neonatais**

As Unidade de Cuidados Intensivos Neonatais (UCIN) são unidades onde se proporciona tratamento intensivo e monitorização clínica e electrofisiológica a recém-nascidos pré-termo e de termo com patologia grave.

Os cuidados proporcionados por estas unidades são estruturados de modo a auxiliarem os recém-nascidos pré-termo a levarem a cabo três funções essenciais que muitas vezes têm dificuldade em controlar: a respiração, a temperatura corporal e a nutrição. Para tal estas unidades contam com diversos equipamentos e tecnologia muito avançada nomeadamente monitores, ventiladores, bombas infusoras, incubadoras, computadores e ainda múltiplos aparelhos móveis. Todo este equipamento torna as UCIN locais com elevado ruído electromagnético e acústico.

A UCIN do Hospital de Dona Estefânia tem 8 postos de cuidados intensivos e 8 postos de cuidados intermédios. A Unidade recebe doentes da maternidade do hospital ou RN nascidos noutros hospitais de Lisboa ou da zona Sul do País uma vez que é uma unidade de referência para patologia cirúrgica neonatal. Este facto condiciona que a unidade possa receber RN pré-termo transferidos directamente da sala de partos da Maternidade ou RN com muitos dias de vida com patologia cirúrgica ou complicações cirúrgicas com indicação operatória.

A sala de cuidados intensivos da UCIN do hospital Dona Estefânia é um espaço aberto com 8 postos, todos eles equipados com monitores, ventiladores e incubadoras que mudam consoante a necessidade do recém-nascido internado nesse posto. Trabalham nesta

unidade médicos, enfermeiros e auxiliares sendo muitas vezes requeridas consultas por parte de médicos de outras especialidades. Os cuidados aos doentes estáveis são prestados de 3 em 3 horas entre as 9 da manhã e as 9 da noite, por vezes, e quando necessário, ocorrem manipulações durante o período noturno. Sempre que possível os cuidados de higiene e as colheitas de produtos biológicos são feitas de manhã. Pretende-se deste modo minimizar os níveis de estresse e gastos de energia por parte dos recém-nascidos. As visitas médicas são também realizadas de manhã sendo esta a altura de maior movimentação e ruído na UCIN.

Uma vez que os recém-nascidos se encontram monitorizados, durante todo o dia é comum dispararem alarmes de diferentes intensidades que se ouvem em toda a sala.

Na Figura 21 encontra-se uma representação da planta da sala de cuidados intensivos neonatais da UCIN do hospital Dona Estefânia.

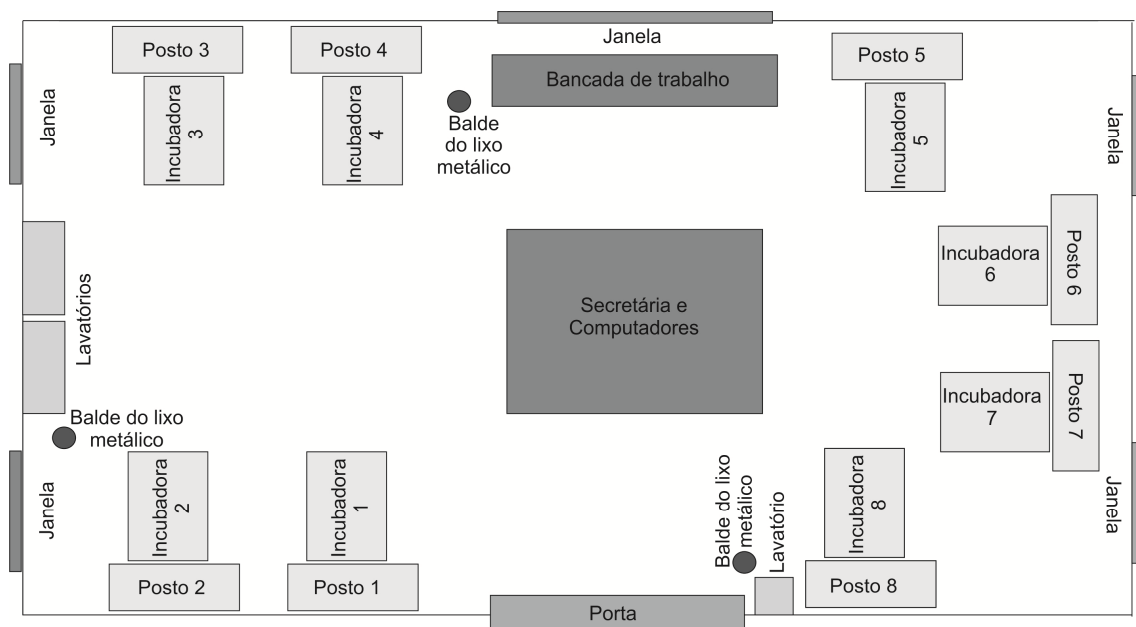


Figura 21 - Planta da UCIN do hospital Dona Estefânia

### 2.3. Incubadoras

As incubadoras são dos equipamentos mais comuns nas UCIN e têm a função de substituir o útero materno. Estes equipamentos permitem regular a temperatura no seu interior com base na temperatura do recém-nascido e proporcionar a humidade necessária regulada de acordo com a idade gestacional. Constitui ainda uma barreira física protegendo o RN de infecções e do ruído. Todos os cuidados e tratamentos de que o recém-nascido necessita, incluindo pesagem e raios X são realizados dentro da incubadora.

Uma incubadora é constituída por duas partes: o habitáculo – um espaço amplo, fechado, delimitado por uma cobertura transparente e rígida, com portas de acesso para cuidados médicos e entradas de tubagem e cablagem eléctrica; e a parte técnica inserida por baixo do tabuleiro onde é deitado o RN, da qual consta o aquecimento, o sistema de ventilação, o recipiente onde se coloca água para gerar humidade, a válvula de controlo de oxigénio, a balança, o tabuleiro de raios X e outras inovações.

Podem ainda conter um servo-controlo para ajudar a regular a temperatura do ambiente da incubadora. O servo-controlo utiliza sensores de temperatura colocados no abdómen do recém-nascido para ler e ajustar a temperatura do meio ambiente.

Na UCIN do hospital Dona Estefânia existem quatro modelos diferentes de incubadoras. Todas foram alvo de estudo neste trabalho e os seus nomes e fabricantes encontram-se indicadas na Tabela 6.

Modelo	Marca	Fabricante
Air Shields, Isolette C2000	Dräger Medical Inc.	Dräger Medical AG & Co, KG
Caleo	Dräger Medical Inc.	Dräger Medical AG & Co, KG
Giraffe	Ohmeda Medical	GE Healthcare
8000 SC	Dräger Medical Inc.	Dräger Medical AG & Co, KG

Tabela 6 – Incubadoras existentes na UCIN do hospital D. Estefânia

Na Figura 22 e na Figura 23 podemos observar os modelos de incubadoras existentes nesta UCIN. Na Figura 22 encontram-se apresentadas as imagens das incubadoras *Air Shields Isolette C2000* e *Caleo* e na Figura 23 das incubadoras *Giraffe* e *8000SC*.



Figura 22 – Incubadora *Air Shields Isolette C2000* e incubadora *Caleo*



Figura 23 - Incubadora *Giraffe* e incubadora *8000SC*

A cobertura da incubadora *Isolette C2000* tem 2 portas de acesso nas paredes laterais, cada uma com 2 portinholas, e 2 portas “iris” nas extremidades. Tem ainda 6 entradas de tubagem na parede anterior, 3 localizadas à esquerda e 3 localizadas à direita. E 4 na parede posterior, 2 localizadas à esquerda e 2 localizadas à direita.

A cobertura da incubadora *Caleo* tem 4 portas de acesso. Duas portas largas em cada lateral, e duas portas mais pequenas e quadradas nas extremidades. As portas da lateral têm duas portinholas cada. Tem ainda 11 entradas de tubagem, 1 no tecto, 5 na parede posterior e 5 na parede posterior. Estas 5 entradas das extremidades estão localizadas 2 à esquerda, 1 ao centro e 2 à direita.

A cobertura da incubadora *Giraffe* tem 2 portas de acesso, uma em cada parede lateral, e cada uma com duas portinholas. Tem 13 entradas de tubagem, 6 na parede posterior, 3 do lado direito e 3 do lado esquerdo. E 7 na parede anterior, 3 do lado direito, 1 ao centro e 3 do lado esquerdo.

A cobertura da incubadora *8000SC* tem 1 porta larga de acesso numa das paredes laterais, essa porta tem 2 portinholas. E tem mais 4 portinholas, 2 na outra parede lateral, 1 na parede anterior e 1 na parede posterior. Tem 6 entradas de tubagem, 3 no lado esquerdo de cada extremidade.

A cobertura das incubadoras *Isolette C2000*, *Caleo* e *Giraffe* é feita de policarbonato. A abóboda da incubadora *8000SC* é feita de polimetil-metacrilato também chamado de acrílico. Estes materiais têm um índice de absorção acústico compreendido no intervalo de 0,45 a 0,55, ou seja absorvem entre 45 a 55% das ondas sonoras reflectindo as restantes.

Tabela 7 encontram-se as especificações dos fabricantes relativamente à dimensão e ruídos das incubadoras.

<b>Modelo</b>	<b>Comprimento x Largura (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Área da Cama (cm)</b>	<b>Ruído de Funcionamento</b>
Air Shields, Isolette C2000	119 x 67	133 - 152	38 x 74	≤ 47dB(A)
Caleo	117 x 69	112 – 152	50 x 65	≤50dB(A)
Giraffe	114 x 66	177 -147	66 x 48	≤50 dB(A)
8000 SC	96 x 68	132 - 152	79 x 38	≤49 dB(A)

Tabela 7- Especificações do fabricante para as incubadoras da UCIN do Hospital Dona Estefânia

## 2.4. Ventilação

Foi já referido que os problemas respiratórios são dos mais comuns entre os recém-nascidos pré-termo. Além disso, nos RN submetidos a grande cirurgia, a necessidade de administração de opiáceos e sedativos em doses elevadas condiciona a necessidade suporte ventilatório. Assim sendo a ventilação é uma das áreas mais importantes no conjunto de tratamentos e assistência prestados na UCIN que conta com diversos equipamentos e técnicas ventilatórias. Entre estas destacam-se o CPAP nasal – Continuous Positive Airway Pressure, e a ventilação mecânica invasiva. Ambas serão alvo de estudo neste trabalho.

### CPAP Nasal

No capítulo 2.1 referiu-se que devido à imaturidade dos pulmões o RN pré-termo pode ter insuficiência respiratório pelo que necessita de suporte ventilatório. Esse suporte pode ser feito com ventilação invasiva ou apenas com pressão de distensão contínua com ou sem oxigénio suplementar, com o objectivo de manter distendidos os alvéolos pulmonares no final de cada expiração. Isto é feito através da aplicação de uma pressão respiratória positiva contínua – CPAP nasal - o qual envia um fluxo constante de ar para os pulmões através de um tubo colocado nas narinas do RN

É um tipo de ventilação não invasiva uma vez que não é necessário intubar o recém-nascido. A sua aplicação é hoje muito comum e quase todos os RN pré-termo fazem uso desta técnica em alguma altura da sua estadia na UCIN.

Uma vez que o fluxo de ar debitado pelo equipamento de CPAP é muito ruidoso, cada vez mais médicos neonatologistas e otorrinolaringologistas se interrogam sobre as possíveis implicações que a utilização do CPAP nasal em RN tem na acuidade auditiva dos mesmos. Este ruído alcança o aparelho auditivo não só através do ouvido externo, mas também através do ouvido interno, uma vez que o fluxo de ar passa por tubos colocados nas narinas do RN cavidade que comunica com o ouvido interno.

Na UCIN do hospital Dona Estefânia é utilizado o equipamento de CPAP *Infant Flow SiPAP* da *Viasys Healthcare*. Este equipamento permite ajustar manualmente diversos parâmetros.



Figura 24 - Equipamento de CPAP *Infante Flow SiPAP* da Viasys Healthcare

### Ventiladores

Nos RN pré-termo que têm o pulmão mais colapsado e/ou os músculos menos desenvolvidos e nos RN submetidos a cirurgia é muitas vezes necessário recorrer à ventilação invasiva. Uma vez que estes RN não conseguem respirar sozinhos necessitam ter um tubo endotraqueal ligado a um ventilador que permita a troca directa entre o ventilador e os pulmões. O ventilador regula o fluxo de ar, o oxigénio e a pressão de ar a cada inspiração e expiração. A frequência respiratória do RN, o fluxo de oxigénio, e a pressão são controlados por ajustamentos definidos pelos médicos, enfermeiras e terapeutas da respiração. Os ventiladores permitem de um modo eficaz e controlado compensar a alteração do funcionamento pulmonar. Estes equipamentos são mais silenciosos que os de CPAP. Na UCIN do Hospital Dona Estefânia é utilizado o ventilador *Babylog 8000 Plus* da *Dräger*.



Figura 25 - Ventilador *Babylog 8000 Plus* da *Dräger*

Este equipamento conta com tecnologia que permite ao ventilador acompanhar os movimentos respiratórios do RN injectando ar no movimento inspiratório do RN e permitindo a expiração espontânea, mecanismo a que se chama respiração sincronizada. Nos casos mais graves este equipamento mantém o esforço de respirar por parte do RN num valor mínimo, e à medida que o quadro clínico evolui vai atribuindo mais controlo respiratório.

Apresenta um forte sistema de monitorização que possibilita ao equipamento a leitura e ajuste automático dos diversos parâmetros respiratórios que também podem ser ajustados manualmente.



### 3. Metodologia de abordagem

Dada a natureza multidisciplinar deste trabalho realizaram-se dois tipos de estudos: estudos acústicos e estudos audiológicos.

#### 3.1. Estudos acústicos

Foi realizado um estudo acústico ambiental da UCIN do hospital Dona Estefânia com intuito de quantificar os níveis de ruído presentes nesta unidade. Foram também realizados estudos acústicos às 4 incubadoras utilizadas nesta unidade nas seguintes condições: sem ocupação, com RN sem qualquer tipo de ventilação, com RN com CPAP e com RN com ventilação invasiva.

##### 3.1.1. Equipamento

O equipamento utilizado nos estudos acústicos foi o sonómetro *2260 Investigator* da *Brüel and Kjær* em conjunto com um tripé de 100cm e uma extensão para o microfone quando necessário.



Figura 26 - Sonómetro 2260 *Investigator* da *Brüel and Kjær*

Para aceder aos dados recolhidos foi utilizado o software *Noise Explorer Type 7815* da *Brüel and Kjær*, e para trabalhar os dados, foi utilizado o software *Excel Office 2007* da *Microsoft*.

##### 3.1.2. Estudo acústico ambiental

No estudo do ambiente acústico da UCIN foram realizadas nove medições de 24 horas em seis posições da UCIN.

Três medições foram realizadas com os parâmetros:

Largura de Banda: 1/3 Oitava [12.5Hz-20kHz]

Variação Dinâmica: [21.3dB-101.3dB]

Medições Agregadas: S F I (tempo) e A C (ponderação)

Medições Espectrais: F (tempo) e A (ponderação)

Intervalo de medição: 20s

Seis medições foram realizadas com os parâmetros:

Largura de Banda: 1/3 Oitava [12.5Hz-20kHz]

Variação: [21.3dB-101.3dB]

Medições Agregadas: S F I (tempo) e A L (ponderação)

Medições Espectrais: F (tempo) e A (ponderação)

Intervalo de medição: 20s

Na Figura 27 podemos observar as seis posições da UCIN onde foi colocado o sonómetro.

Estas posições encontram-se indicadas a verde com o símbolo PS – Posição Sonómetro.

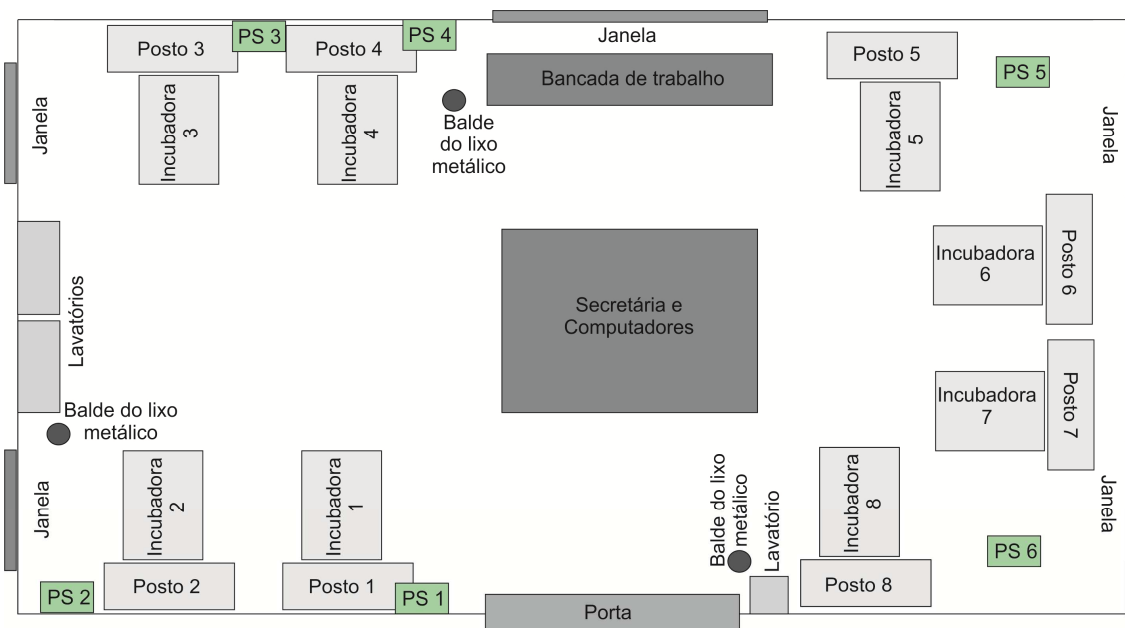


Figura 27 - Planta da UCIN do Hospital Dona Estefânia com localização das medições ambientais

Foram escolhidas posições para colocação do sonómetro próximas das extremidades anteriores das incubadoras. O intuito foi estudar o ruído ambiental da UCIN o mais próximo da cabeça do RN sem no entanto interferir na prestação de cuidados médicos.

Após a recolha das medições efectuadas foram estudados os parâmetros:  $L_{eq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_{max}$  e os espectros de frequências de cada hora de medição.

### 3.1.3. Estudo acústico de incubadoras

Relativamente ao estudo de incubadoras, foram efectuadas medições de 24 horas nos quatro modelos diferentes de incubadoras existentes na UCIN do hospital Dona Estefânia e nas quatro situações de ocupação já referidas. As medições foram efectuadas nos 8 postos existentes na UCIN e o número de medições por posto foi aleatório uma vez que o critério de escolha da posição de cada medição foi a incubadora e o tipo de ventilação que se encontrava nesse posto na altura da medição.

Durante os períodos de medição o sonómetro foi colocado atrás do posto e utilizada uma extensão para o microfone de modo a possibilitar a colocação do mesmo numa das entradas da incubadora. Para cada combinação de incubadora e situação de ocupação foram realizadas duas medições, uma na zona anterior, junto à área da cabeça, e outra na zona posterior, junto à área dos pés. Utilizaram-se as saídas de tubagem e cablagem existentes nas paredes anterior e posterior das incubadoras para inserir o microfone.

Em todas as medições efectuadas a incubadoras os parâmetros escolhidos no sonómetro foram:

Largura de Banda: 1/3 Oitava [12.5Hz-20kHz]

Variação Dinâmica: [21.3dB-101.3dB]

Medições Agregadas: S F I (tempo) e A C (ponderação)

Medições Espectrais: F (tempo) e A (ponderação)

Intervalo de medição: 20s

#### Incubadoras sem ocupação

Foram realizadas 12 medições em incubadoras sem ocupação por períodos de 24 horas. A informação sobre essas medições está resumida na tabela abaixo.

<b>Modelo da incubadora</b>	<b>Posição do microfone</b>	<b>Nº de medições (24h)</b>
<i>Isolette C2000</i>	Anterior	2
<i>Isolette C2000</i>	Posterior	2
<i>Caleo</i>	Anterior	1
<i>Caleo</i>	Posterior	1
<i>Giraffe</i>	Anterior	2
<i>Giraffe</i>	Posterior	1
<i>8000SC</i>	Anterior	2
<i>8000SC</i>	Posterior	1

Tabela 8 - Medições em incubadoras sem ocupação

### Incubadoras com recém-nascidos

As medições em incubadoras com recém-nascidos foram divididas em três grupos: RN sem ventilação, RN com CPAP e RN com ventilação invasiva. Na posição anterior o microfone foi colocado a cerca de 15cm da cabeça do recém-nascido. E na posição inferior a cerca de 20cm dos pés do recém-nascido. Na Tabela 9 encontra-se a informação sobre as medições realizadas.

<b>Tipo de ventilação</b>	<b>Modelo da incubadora</b>	<b>Posição do microfone</b>	<b>Nº de medições (24h)</b>
Sem ventilação	<i>Isolette C2000</i>	Anterior	2
Sem ventilação	<i>Isolette C2000</i>	Posterior	2
Sem ventilação	<i>Caleo</i>	Anterior	2
Sem ventilação	<i>Caleo</i>	Posterior	2
Sem ventilação	<i>Giraffe</i>	Anterior	2
Sem ventilação	<i>Giraffe</i>	Posterior	1
Sem ventilação	<i>8000SC</i>	Anterior	2
Sem ventilação	<i>8000SC</i>	Posterior	2
CPAP	<i>Isolette C2000</i>	Anterior	3
CPAP	<i>Isolette C2000</i>	Posterior	3
CPAP	<i>Caleo</i>	Anterior	0
CPAP	<i>Caleo</i>	Posterior	1
CPAP	<i>Giraffe</i>	Anterior	2
CPAP	<i>Giraffe</i>	Posterior	1
CPAP	<i>8000SC</i>	Anterior	1
CPAP	<i>8000SC</i>	Posterior	1
Mecânica invasiva	<i>Isolette C2000</i>	Anterior	2
Mecânica invasiva	<i>Isolette C2000</i>	Posterior	2
Mecânica invasiva	<i>Caleo</i>	Anterior	1
Mecânica invasiva	<i>Caleo</i>	Posterior	1
Mecânica invasiva	<i>Giraffe</i>	Anterior	2
Mecânica invasiva	<i>Giraffe</i>	Posterior	1
Mecânica invasiva	<i>8000SC</i>	Anterior	1
Mecânica invasiva	<i>8000SC</i>	Posterior	1

Tabela 9 - Medições em incubadoras com RN

### 3.2. Estudo audiológico

No que respeita a estudos audiológicos foram efectuados exames de rastreio de otoemissões acústicas produtos de distorção – DPOEA, a todos os RN admitidos na UCIN durante o período de estudo com os seguintes critérios de inclusão:

- À entrada na UCIN serem RN de termo com idade inferior a 15 dias
- À entrada na UCIN serem RN de pré-termo com idade inferior a 21 dias
- Não terem patologia neurológica nem terem tido asfixia perinatal ou pós natal

A exclusão de RN com mais de 15 e 21 dias - respectivamente de termo ou pré-termo – teve como objectivo tentar estudar RN com poucas intervenções terapêuticas que possam ter influência no processo auditivo tornando muito complicado determinar o seu historial. Os RN com patologia neurológica ou asfixia foram excluídos do estudo pois podiam sofrer de problemas auditivos devido a essa condição.

Os RN englobados no estudo foram submetidos diariamente a exames de rastreio de DPOEA durante todo o período de internamento na UCIN – cuidados intensivos e intermédios.

Além do rastreio de DPOEA tentou-se realizar rastreios ABR quando os resultados do rastreio de DPOEA fosse *Refer*, numa tentativa de se despistar eventuais falsos positivos. O rastreio ABR provou-se difícil de realizar nos cuidados intensivos da UCIN devido ao forte ruído electromagnético que se faz sentir nesta unidade. Após várias tentativas falhadas passou-se a realizar rastreio ABR apenas quando os RN eram transferidos para cuidados intermédios.

#### 3.2.1. Equipamento

Para realizar o estudo audiológico foi utilizado o equipamento de rastreio auditivo do departamento de otorrinolaringologia – ORL, do hospital Dona Estefânia. Este equipamento é o *Abaer and OEA Hearing Screening System* da *Bio-logic, Systems Corp*. Trata-se de um sistema computadorizado que realiza rastreios de potenciais evocados e de otoemissões acústicas. Este equipamento foi projectado para ser utilizado em pacientes entre as 34 semanas gestacionais e os 6 meses de idade.



Figura 28 - Equipamento Abar and OEA Hearing Screening System

### 3.2.2. Exame de rastreio DPOEA

As otoemissões acústicas são realizadas com ajuda de uma sonda que é inserida no ouvido do RN. O sistema emite uma série de *clicks* através dessa sonda e mede a resposta da cóclea ao estímulo auditivo. Posteriormente o software compara os dados recolhidos com os dados padrão e dá um resultado de *Pass* ou *Refer*. O *software* do equipamento utilizado tem protocolo pré-definido de DPOEA, cujos parâmetros de gravação e estímulo não podem ser alterados, e cujos valores se encontram na Tabela 10.

$L_1$	65dB SPL
$L_2$	55dB SPL
Rácio $F_2/F_1$	1,2
N.º mínimo de amostras	40
Tamanho da amostra	1024 pontos (amostra de 20mseg)

Tabela 10 - Parâmetros de estímulo e gravação do rastreio de DPOEA

O protocolo utilizado testa 4 frequências –  $f_2$  e considera que o paciente passou no exame – *Pass*, caso passe em 3 das 4 frequências testadas. Para obter um resultado *Pass* numa frequência testada, o valor da DPOEA do paciente nessa frequência tem de estar um determinado valor acima do ruído ambiental. Esses valores mínimos de amplitude necessários para obter classificação *Pass*, e os valores das frequências testadas encontram-se na tabela 11.

Frequências F2	Amplitude necessária para passar (OAE-NF) <sub>min</sub> /dB SPL
5014	-6
3983	-5
2999	-8
2015	-7
Nº de frequências para passar o rastreio	3

Tabela 11 - Protocolo dos DPOEA

Para realizar os testes de rastreio de DPOEA foi elaborado o seguinte protocolo:

- Desinfetar a sonda e cabos que entram dentro da incubadora
- Colocar ponta de borracha descartável na ponta de prova da sonda
- Colocar a ponta de borracha dentro do canal auditivo direito do RN
- Realizar o exame de DPOEA
- Recolocar a ponta de borracha no canal auditivo direito do RN
- Realizar o exame de DPOEA
- Repetir os 2 passos anteriores
- Colocar a ponta de borracha dentro do canal auditivo esquerdo do RN
- Realizar o exame de DPOEA
- Recolocar a ponta de borracha no canal auditivo esquerdo do RN
- Realizar o exame de DPOEA
- Repetir os 2 passos anteriores
- Retirar a ponta de borracha descartável da ponta de prova da sonda

Deste modo tentou-se recolher de cada RN 3 exames diários de DPOEA por ouvido. O intuito da repetição do exame foi despistar possíveis falsos positivos devido a erros de colocação da sonda, uma vez que o exame vai beneficiar da experiência do operador em colocar a sonda.

Após realizar o rastreio de DPOEA o equipamento imprime um relatório com os resultados do exame para os dois ouvidos. Nesse relatório além de vir indicado o resultado *Pass* ou *Refer* vem também uma tabela com as amplitudes das OEA e amplitudes do ruído ambientais medidas para as 4 frequências testadas, a diferença entre esses dois valores, e o resultado *Pass/Refer* para as OEA de cada frequência. É também desenhado o gráfico da amplitude das OEA e ambiente em função da frequência, e indicado o número médio de estímulos, artefactos e duração de cada exame. Na Figura 29 encontra-se um exemplo do relatório de resultados obtidos num exame de rastreio de DPOEA.

## HEARING SCREENING REPORT - DPOAE

Patient:   
ID#: 11026064  
Gender: Female  
Birth date: 30-06-2011  
Contact:

Left ear test result: Pass

Test date: 15-07-2011 20:07:54

Tester name:

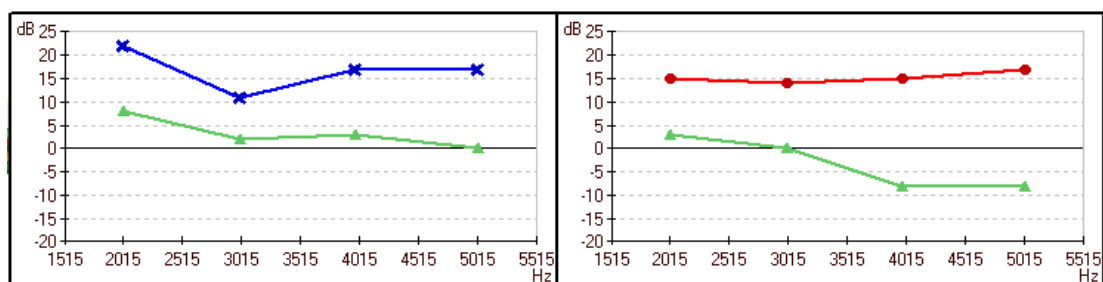
Right ear test result: Pass

Test date: 15-07-2011 20:06:48

Tester name:

Frequency (F2 in Hz)	L1 (dB SPL)	L2 (dB SPL)	F2/F1	OAE Amplitude (dB SPL)	Noise floor amplitude (dB SPL)	OAE-NF (dB)	Result
2015	68	57	1.22	22	8	14	Pass
3000	65	55	1.22	11	2	9	Pass
3984	64	55	1.22	17	3	14	Pass
5015	64	55	1.22	17	0	17	Pass

Frequency (F2 in Hz)	L1 (dB SPL)	L2 (dB SPL)	F2/F1	OAE Amplitude (dB SPL)	Noise floor amplitude (dB SPL)	OAE-NF (dB)	Result
2015	66	57	1.22	15	3	12	Pass
3000	66	58	1.22	14	0	14	Pass
3984	65	55	1.22	15	-8	23	Pass
5015	65	55	1.22	17	-8	25	Pass



Stimuli averaged: 280  
Number of artifacts: 24  
Test time: 00 min 13 sec

Stimuli averaged: 160  
Number of artifacts: 0  
Test time: 00 min 07 sec

Figura 29 - Resultado de um Exame de Rastreio DPOAE

### 3.2.3. Exame de rastreio ABR

Para realizar o exame de rastreio de potenciais evocados auditivos do tronco cerebral é inserida uma sonda no ouvido do RN que emite um estímulo *click*. A resposta auditiva a esse estímulo é medida na porção do tronco cerebral, através da colocação de 3 eléctrodos na superfície craniana do paciente. Tal como acontecia no exame de rastreio de DPOEA, também aqui os dados recolhidos são tratados e comparados com critérios padrão do equipamento atribuindo a classificação de *Pass* ou *Refer* a cada exame realizado. Obtém-se um resultado *Pass* quando o *Point Optimum Variance Ratio* – POVR,



é maior ou igual após um mínimo de 1500 estímulos. O resultado *Refer* é obtido quando o valor do POVR é inferior a 3,1 após se realizar a média de 6144 estímulos duas vezes.

O estímulo e parâmetros de gravação usados neste exame de rastreio encontram-se descritos na Tabela 12.

Tipo de estímulo	100 microssegundo
Polaridade do estímulo	Alternado
Taxa do estímulo	37,1
Intensidade do estímulo	35dB
Janela de análise	21,33msec
Filtro passa alto	100Hz
Filtro passa baixo	1501Hz
Ganho do amplificador	30,000
Canais	1
Varrimentos mínimos	1500
Varrimentos máximos	12,288

Tabela 12 - Parâmetros de estímulo e gravação do rastreio de ABR

Para realizar os exames de ABR foi elaborado o seguinte protocolo:

- Desinfetar a sonda e cabos que entram dentro da incubadora
- Preparar a área de colocação dos eléctrodos limpando a pele do RN com uma loção de preparação
- Retirar eléctrodos descartáveis da embalagem e proceder à sua colocação
- Ligar os eléctrodos ao equipamento *Abaer and OEA Hearing Screening System*
- Colocar ponta de borracha descartável na ponta de prova da sonda
- Colocar a ponta de borracha dentro do canal auditivo direito do RN
- Realizar o exame de potenciais evocados
- Caso a impedância dos eléctrodos seja maior que a prevista pelo software, o sistema indica no écran o/os eléctrodo/os rejeitado/os a vermelho. Neste caso remover o/os eléctrodo/os, preparar novamente a área e recoloca-lo/os. O programa irá continuar a ler as impedâncias em cada um dos 3 locais procedendo directamente para a fase de rastreio assim que os valores de impedância medidos se encontrem dentro dos valores previstos
- Colocar a ponta de borracha dentro do canal auditivo esquerdo do RN e repetir os 2 passos anteriores

Também para o rastreio ABR é impresso um relatório com os resultados do exame para os dois ouvidos. Nesse relatório vem indicado o resultado *Pass* ou *Refer*, o valor de POVR obtido, a média de estímulos, número de artefactos e duração do exame. É também indicado no relatório os parâmetros do estímulo e gravação e o valor das impedâncias lidas. Na Figura 30 encontra-se um exemplo do relatório de resultados obtidos num exame de rastreio ABR.

Hospital D. Estefânia  
 Serviço de Otorrinolaringologia  
 Unidade de Audiologia  
 Director Dra. Luisa Monteiro

## HEARING SCREENING REPORT - ABR

Patient:   
 ID#: **11026064**  
 Gender: **Female**  
 Birth date: **30-06-2011**  
 Contact:

<b>Left ear test result:</b> <b>Pass</b> <b>Test date:</b> <b>20-07-2011 17:21:25</b> <b>Tester name:</b>	<b>Right ear test result:</b> <b>Pass</b> <b>Test date:</b> <b>20-07-2011 17:19:15</b> <b>Tester name:</b>
---	--

<b>POVR score:</b> <b>4.87</b> <b>Stimuli averaged:</b> <b>2816</b> <b>Number of artifacts:</b> <b>293</b> <b>Test time:</b> <b>01 min 27 sec</b>	<b>POVR score:</b> <b>4.60</b> <b>Stimuli averaged:</b> <b>3072</b> <b>Number of artifacts:</b> <b>354</b> <b>Test time:</b> <b>01 min 36 sec</b>
--	--

*Stimulus and recording parameters*

Transducer:	OAE Probe	Epoch:	21.33 msec	Transducer:	OAE Probe	Epoch:	21.33 msec
Stimulus type:	Click	Gain:	30000	Stimulus type:	Click	Gain:	30000
Stimulus rate:	37.1 /sec	High pass filter:	100 Hz	Stimulus rate:	37.1 /sec	High pass filter:	100 Hz
Stimulus intensity:	35 dB	Low pass filter:	1501 Hz	Stimulus intensity:	35 dB	Low pass filter:	1501 Hz

*Impedance values*

Forehead:	5 kOhm	Forehead:	6 kOhm
Left ear:	4 kOhm	Left ear:	4 kOhm
Right ear:	4 kOhm	Right ear:	5 kOhm

Figura 30 - Resultado de um Exame de Rastreio ABR

As colocações da sonda e eléctrodos foram realizadas por médicos neonatologistas. Em todos os casos estudados foi pedido consentimento informado aos pais após explicação do procedimento e finalidade do mesmo.

### 3.2.4. Informação dos recém-nascidos

Ao todo foram estudados 8 RN, cuja informação se encontra resumida na Tabela 13. No total foram realizadas 137 avaliações durante 30 dias.

Nome	Nº Processo	Data de Nascimento	Semanas de gestação	Peso ao nascer	Classificação	Ventilação durante o período de exames
R.M.	11025711	04/07/2011	32	1310g	Pré-termo limiar	Nenhuma
A.V.	11028822	20/07/2011	40	3260g	Termo	Nenhuma
S.F.	11028222	22/07/2011	28	900g	Grande pré-termo	Nenhuma
S.N	11027287	12/07/2011	27	1000g	Grande pré-termo	CPAP e invasiva
T.R.	11023994	20/06/2011	24	750g	Grande pré-termo	CPAP e invasiva
F.A.	11026216	07/07/2011	38	3175g	Termo	Invasiva
M.C.	11029664	01/08/2011	26	870g	Grande pré-termo	Invasiva
S.L.	11026064	30/06/2011	38	2990g	Termo	Invasiva

Tabela 13 - Informação sobre RN estudados

Para cada RN foi ainda recolhida informação sobre o seu estado clínico, passível de influenciar o processo auditivo. A informação recolhida foi:

- **Infecções durante a gravidez:** Rubéola, Sífilis, CMV e Toxoplasmose
- **Índice de Apgar:** Trata-se de um teste que avalia o estado clínico do RN no momento do nascimento. Consiste na avaliação de 5 sinais objectivos no primeiro, quinto e décimo minuto após o nascimento - frequência cardíaca, capacidade respiratória, tônus muscular, reflexos e cor da pele - atribuindo-se a cada sinal uma pontuação entre 0 e 2. O somatório dessa pontuação resulta no índice de Apgar. Pontuação inferior a 7 pode indicar que houve algum sofrimento no período perinatal e que a criança pode necessitar de cuidados, nomeadamente monitorização clínica e electrofisiológica ou outras intervenções. Quanto mais baixo é o índice pior a situação clínica do RN, maiores os cuidados de que vai necessitar e pior o prognóstico neurológico
- **Icterícia:** A icterícia é uma condição muito comum em RN. É caracterizada pela coloração amarelada da pele e mucosas devida à acumulação de bilirrubina no

sangue, por formação de bilirrubina superior à capacidade que o fígado tem para a metabolizar. É comum nos RN por estes muitas vezes terem um metabolismo hepático pouco maduro, facto que a torna ainda mais comum nos RN pré-termo.

- **Sépsis:** A sépsis é uma infecção geral do organismo causada por microrganismos de origem materna ou hospitalar. É uma situação potencialmente grave e com potenciais sequelas, sobretudo nos RN de extremo baixo peso e grande pré-termo, grupos em que a sépsis pode ser muito frequente.
- **Medicação ototóxica:** frequentemente os RN internados na UCIN fazem medicação ototóxica. Os medicamentos ototóxicos mais frequentemente utilizados são a gentamicina (antibiótico) e o furosemido (diurético).

Na tabela 14 podemos ver o tipo e número de exames de rastreio que foram realizados aos 8 RN estudados e descritos na Tabela 13.

Nome do Recém-Nascido	Tipo de exame	Número de exames realizados	Número de dias avaliados	Datas
R.M.	DPOEA	11	9	07/07/2011 a 21/07/2011
A.V.	DPOEA	14	5	29/07/2011 a 07/08/2011
S.F.	DPOEA	20	8	25/07/2011 a 07/08/2011
S.N.	DPOEA	22	11	17/07/2011 a 07/08/2011
T.R.	DPOEA	34	18	08/07/2011 a 07/08/2011
F.A.	DPOEA	12	12	07/07/2011 a 25/07/2011
M.C.	DPOEA	9	3	05/08/2011 a 07/08/2011
S.L.	DPOEA	13	13	07/07/2011 a 27/07/2011
S.F.	ABR	1	1	25/07/2011
F.A.	ABR	1	1	05/08/2011
S.L.	ABR	1	1	20/07/2011

Tabela 14 - Informação sobre os exames realizados

## 4. Discussão de Resultados

### 4.1. Estudo acústico

Para todas as análises de ruído foi estudado o ruído equivalente –  $L_{eq}$ , o ruído mínimo –  $L_{min}$ , o ruído máximo –  $L_{max}$ , e as quantidades  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$  recolhidas pelo sonómetro em intervalos de 20s e por períodos de 24h. O tratamento inicial dos dados recolhidos foi feito em blocos com duração de 1 hora. Para cada medição foram realizadas tabelas com os valores de  $L_{eq}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$  e traçados dois gráficos, um com as amplitudes dos ruídos  $L_{eq}$ ,  $L_{min}$ , e  $L_{max}$  e outro com as quantidades  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ . Ambos os gráficos estão em função das 24h de medição.

Para calcular o ruído equivalente de cada hora de medição foi utilizada a equação:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \sum \left( 10^{\frac{L_{SPL}}{10}} \frac{T_i}{T} \right) \right], \text{ onde } T_i \text{ é o intervalo da medição dos valores de SPL}$$

com  $T_i=20\text{seg}$  e  $T=3600\text{seg}=1\text{h}$ .

#### 4.1.1. Estudo acústico ambiental

No estudo ambiental foram realizadas 9 medições e traçados 18 gráficos. Após observação destes gráficos verificou-se que os valores de ruído equivalente –  $L_{eq}$ , variam durante o dia segundo um padrão que se divide em 3 intervalos. Foi possível isolar e quantificar esses 3 intervalos de tempo dentro dos quais os valores de  $L_{eq}$  se mantêm aproximadamente constantes. Na Tabela 15 estão indicados os 3 intervalos de tempo assim como os seus valores médios e intervalo de variação.

Intervalo	Valor Médio de $L_{eq}$ (dB)	Variação de $L_{eq}$ (dB)
0h – 07h	52	47 – 55
08h – 15h	58	55 – 61
16h – 23h	56	53 – 59

Tabela 15 - Intervalos diários de  $L_{Aeq}$

Sobrepondo as rectas de  $L_{eq}$  de cada uma das nove medições obteve-se o gráfico da Figura 31 onde se consegue observar claramente o padrão acima descrito. É de salientar que no intervalo das 0h às 7h verifica-se que entre as 3h e as 5h os valores de  $L_{eq}$  situam-se entre os 47dB e os 51dB.

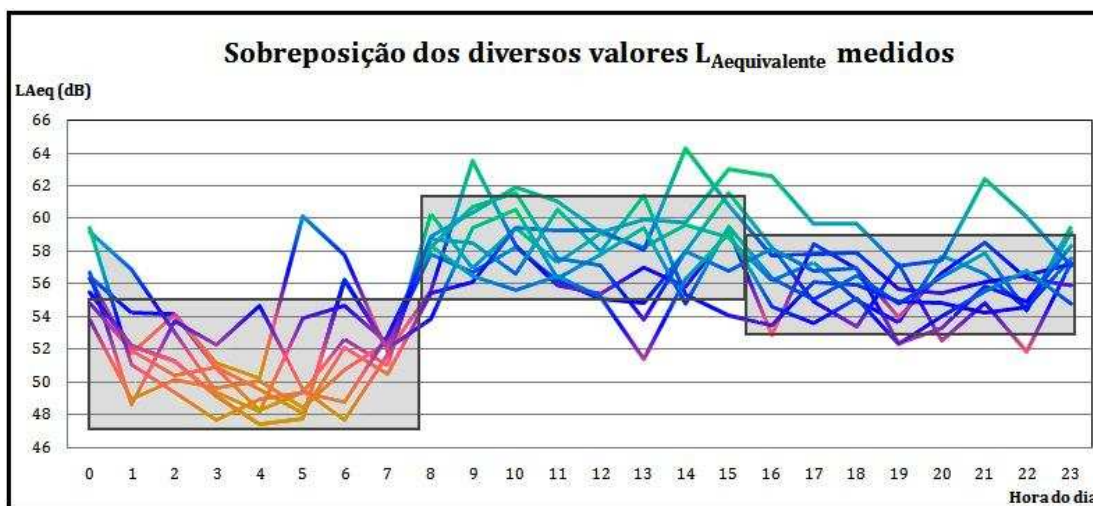


Figura 31 - Gráfico com os  $L_{Aeq}$  ambientes da UCIN do hospital Dona Estefânia

Os valores de ruído ambiental registados na UCIN ultrapassam em pelo menos 10 dB os valores recomendados pela OMS (valores recomendados: 45dB durante o período diurno e 35dB durante o período noturno) [8] [9]. Estes valores excessivos vão afectar principalmente os RN que passam grandes períodos do dia ao colo e aqueles que se encontram em berços. No que respeita os RN em incubadoras iremos estudar mais à frente os valores de ruído a que estes se encontram sujeitos dentro das incubadoras assim como as propriedades de atenuação das paredes da cobertura.

#### Ruído mínimo e ruído máximo

O  $L_{min}$ , que corresponde ao ruído de fundo, verificou-se ser constante com o valor de 46dB

O  $L_{max}$ , que corresponde ao ruído impulsivo não apresenta nenhum padrão o que é consistente com a ausência de impulsos constantes. Apresenta no entanto diversos picos indicadores da presença de muito ruído impulsivo. Foram feitas diversas observações do dia-a-dia da UCIN de forma a perceber o seu funcionamento. Durante essas observações verificou-se que o ruído impulsivo pode ter diversas fontes como o fechar das portinholas das incubadoras, dos caixotes de lixo e gavetas metálicas, o choro do RN, as intervenções realizadas ao RN e o disparo dos alarmes de monitorização de RN.

#### $L_{10}$ e $L_{90}$

Os gráficos de amplitude da quantidade  $L_{10}$  têm um comportamento semelhante aos gráficos do  $L_{Aeq}$ , e uma diferença de amplitude de 3dB. Este parâmetro também pode ser dividido em três intervalos diários que se encontram indicados e quantificados na Tabela 16.

Intervalo	Valor Médio de $L_{10}$ (dB)	Variação de $L_{10}$ (dB)
0h-7h	55	49 – 58
8h-15h	61	57 – 65
16h-23h	60	55 – 63

Tabela 16 - Intervalos diários de  $L_{10}$

No que respeita o  $L_{90}$  medido, verificou-se que 90% do ruído ultrapassa os 44dB entre as 0h e as 7h e ultrapassa os 46dB entre as 8h e as 23h.

#### Espectros ( $L_{Aeq}$ )

Para todas as medições foram calculados e observados os espectros para cada uma das 24 horas de medição. Observou-se que para todas as medições efectuadas o ruído encontra-se sempre acima de 20dB no intervalo de frequência entre os 50Hz e os 4KHz. Observou-se também que os espectros apresentam sempre o mesmo comportamento.

O valor máximo de  $L_{Aeq}$  é variável ao longo das horas mas é quase sempre obtido o mesmo valor para a frequência de 500Hz. Ao estudar em maior pormenor o que se passa nesta frequência, verifica-se que os valores associados a 500Hz variam consoante a hora do dia de acordo com os intervalos estipulados anteriormente. Na Tabela 17 encontram-se os valores médios e as variações para esta frequência.

Intervalo	Valor Médio (dB)	Variação (dB)
0h-7h	55	50 – 58
8h-15h	61	57 – 65
16h-23h	59	55 – 63

Tabela 17 - Intervalo diário para a frequência de 500Hz

#### **4.1.2. Estudo acústico de incubadoras**

##### Incubadoras Vazia

No estudo de incubadoras foram realizadas 12 medições que se encontram indicadas na Tabela 8. Após uma análise detalhada dos 24 gráficos traçados concluiu-se que não existe diferenciação entre o ruído medido na zona posterior da incubadora e o ruído medido na zona anterior. Assim sendo optou-se por agrupar os resultados de cada modelo de incubadora sem discriminar a posição do microfone. Na Tabela 18 encontram-se os resultados obtidos para o ruído mínimo e as quantidades  $L_{10}$  e  $L_{90}$ .

		<b><i>Isolette C2000</i></b>	<b><i>Giraffe</i></b>	<b><i>Caleo</i></b>	<b><i>8000SC</i></b>
<b>L<sub>min</sub> (dB)</b>	0h-23h	47	49	51	50
<b>L<sub>10</sub> (dB)</b>	0h - 7h	51	54	55	52
	8h - 15h	53	56	59	56
	16h - 23h	48	56	57	57
<b>L<sub>90</sub> (dB)</b>	0h - 7h	48	50	52	49
	8h - 15h	48	51	53	51
	16h - 23h	48	50	52	51

Tabela 18 - Resultados do L<sub>min</sub>, L<sub>10</sub> e L<sub>90</sub> para incubadoras sem ocupação

O L<sub>min</sub> indica o ruído de fundo de cada incubadora, ou seja o ruído intrínseco ao funcionamento da mesma. Vamos comparar os valores obtidos com os valores indicados pelo fabricante que se encontram na Tabela 7.

A incubadora *Isolette C2000* apresenta um ruído intrínseco de 47dB que é igual ao valor especificado pelo fabricante. A incubadora *Giraffe* apresenta um ruído intrínseco de 49 dB, valor que se encontra 1dB abaixo ao valor especificado pelo fabricante. A incubadora *Caleo* apresenta um ruído intrínseco de 51 dB, e a incubadora *8000SC* de 50dB. Ambos os valores estão 1dB acima do vos valores especificados pelo fabricante.

Na Tabela 18 são também indicados os valores L<sub>90</sub> de cada incubadora para os três intervalos diários. Observando a tabela conclui-se que no interior de todas as incubadoras 90% do ruído excede o valor recomendado pela OMS. Este excesso varia entre os 3 e os 8dB.

No gráfico da Figura 32 encontram-se os valores do L<sub>eq</sub> obtidos para cada modelo de incubadora vazia. Verifica-se que todos eles são inferiores aos valores de L<sub>eq</sub> ambiental o que significa que as paredes da cobertura da incubadora atenuam o ruído, protegendo o ambiente dentro da incubadora do ruído ambiental que a rodeia.

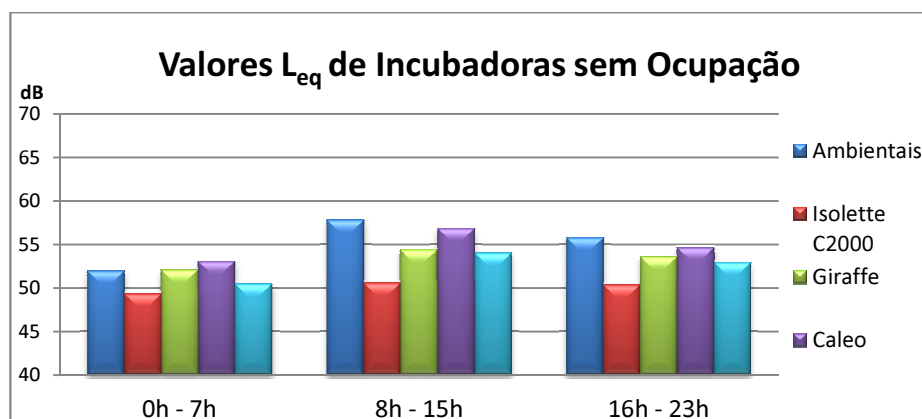


Figura 32 - Gráfico do L<sub>eq</sub> em incubadoras sem ocupação



O ruído medido dentro das incubadoras vazias provém de duas fontes: do ruído intrínseco da incubadora e do ruído ambiental da UCIN atenuado pela parede. Como se sabe o valor da contribuição do ruído intrínseco da incubadora consegue-se através da subtração de níveis sonoros calcular o valor da contribuição do ruído ambiental da UCIN atenuado pela parede. Para tal segue-se as indicações dadas no capítulo 1.1.2 e consulta-se o gráfico da Figura 5 para obter os valores de correção.

Os valores do ruído ambiental atenuado pelas paredes das diversas incubadoras estão indicados na Tabela 19. Também estão indicados os valores de atenuação de cada incubadora, calculados através da diferença entre o ruído ambiental e o ruído ambiental atenuado.

		<b>L<sub>eq</sub> ambiental atenuado (dB)</b>	<b>L<sub>eq</sub> ambiental (dB)</b>	<b>Atenuação (dB)</b>
<b><i>Isolette C2000</i></b>	0h - 7h	44	52	8
	8h - 15h	48	57	9
	16h - 23h	47	55	8
<b><i>Giraffe</i></b>	0h - 7h	50	52	2
	8h - 15h	53	57	4
	16h - 23h	52	55	3
<b><i>Caleo</i></b>	0h - 7h	48	52	4
	8h - 15h	56	57	1
	16h - 23h	52	55	3
<b><i>8000SC</i></b>	0h - 7h	44	52	8
	8h - 15h	52	57	5
	16h - 23h	50	55	5

Tabela 19 - Valores de atenuação das incubadoras

A incubadora *Isolette* atenua cerca de 8dB, as incubadoras *Giraffe* e *Caleo* cerca de 3dB e a incubadora *8000SC* cerca de 5 dB. Estes valores são aproximados, para se determinar os estes valores com uma maior precisão seriam necessários dois sonómetros para que se pudesse medir em simultâneo o ruído dentro e fora da incubadora.

#### Incubadoras com RN

Ao todo foram realizadas 38 medições em incubadoras com RN; 15 medições em incubadoras com RN sem ventilação; 11 medições em incubadoras com RN com ventilação mecânica invasiva; 12 medições em incubadoras com RN com CPAP nasal. No total foram traçados e analisados 72 gráficos.

Antes de se realizarem as medições pôs-se a hipótese de o ruído ser maior nas zonas anteriores das incubadoras ocupadas. Esta hipótese teve como base o facto de o microfone na posição anterior se encontrar mais próximo da cabeça, fonte do ruído emitido pelos RN e lugar por onde passam os tubos ventilatórios. No entanto após observação dos 72 gráficos traçados verificou-se que o ruído medido na posição anterior nem sempre é maior que o ruído medido na posição posterior. Após uma análise detalhada não se conseguiu identificar qualquer tipo de padrão que permita tirar conclusões sobre diferenças entre medições na zona anterior e na zona posterior. Existem algumas razões que podem justificar este facto; a dimensão da incubadora, o comprimento das incubadoras varia entre os 96 e os 119cm o que significa que quando uma onda sonora se desloca da posição anterior da incubadora à posição posterior não completa um ciclo, e portanto ainda não perdeu intensidade quando atinge a zona posterior; o material da cobertura tem um coeficiente de atenuação entre 0.45 e 0.55 o que significa que há muitas reflexões do ruído.

Perante esta constatação optou-se novamente por não fazer diferenciação entre medições da posição anterior e posterior dentro do mesmo modelo de incubadora e sujeita à mesma ventilação.

Nas Figura 33, 34 e 35 encontram-se os gráficos dos ruídos equivalentes para as incubadoras ocupadas. No gráfico do ruído equivalente para as incubadoras com RN com CPAP não se incluiu a medição realizada para a incubadora *Caleo* pois só se conseguiu “apanhar” esta incubadora com um RN com CPAP uma vez e quando se foi recolher os dados gravados ao final das 24h o microfone estava tombado no colchão da base da incubadora. Ao analisar os dados referentes a esta medição descobriu-se que comparativamente a outras medições os valores de ruídos são muito baixos. Dado que o colchão pode ter abafado o ruído capturado pelo microfone, e para não comprometer os resultados optou-se por descartar essa medição.

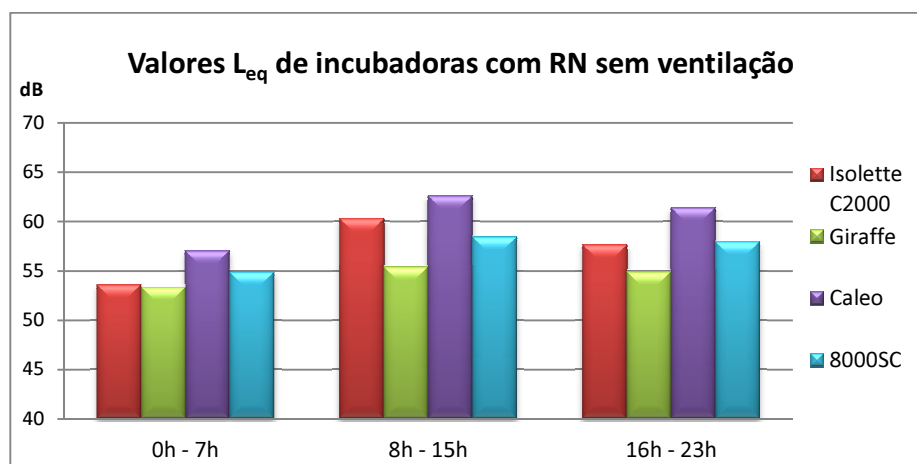


Figura 33 - Gráfico do  $L_{eq}$  em incubadoras com RN sem ventilação

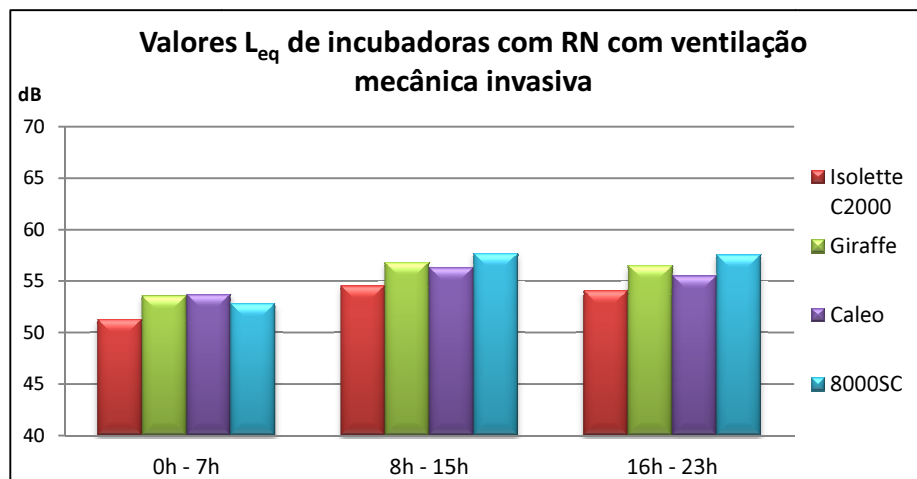


Figura 34 - Gráfico do  $L_{eq}$  em incubadoras com RN com ventilação mecânica invasiva

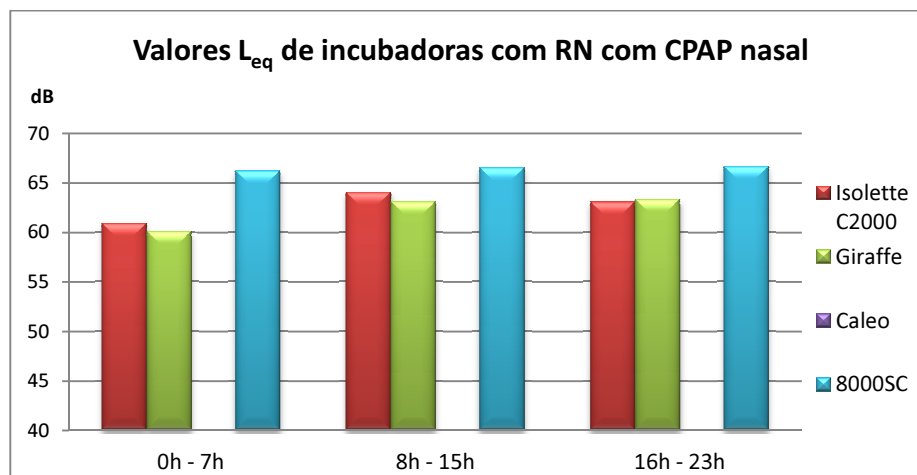


Figura 35 - Gráfico do  $L_{eq}$  em incubadoras com RN com CPAP nasal

Observando os três gráficos acima conclui-se que o ruído equivalente é maior no caso das incubadoras com RN com CPAP nasal, e menor no caso das incubadoras com RN com ventilação mecânica invasiva. As incubadoras com RN sem ventilação apresentam diferenças de ruído equivalente entre os três intervalos temporais. As incubadoras com RN com ventilação apenas apresentam diferença de  $L_{eq}$  entre o intervalo noturno e os intervalos diurnos. E as incubadoras com RN com CPAP nasal não apresentam diferenças de ruído entre os 3 intervalos temporais. Isto demonstra que o ruído proveniente do CPAP nasal é tão elevado que a contribuição do ruído ambiental atenuada é nula, o que significa que entre estes dois ruídos existe uma diferença de no mínimo 10dB.

Na Tabela 20 estão indicados os valores, já trabalhados, do  $L_{eq}$ ,  $L_{min}$  e  $L_{90}$  para cada combinação de incubadora/ventilação.

		$L_{eq}$ (dB)	Variação $L_{eq}$ (dB)	$L_{min}$ (dB)	Variação $L_{min}$ (dB)	$L_{90}$ (dB)
<b>Sem ventilação</b>	<i>Isolette C2000</i>	57	48 – 74	49	43 - 61	50
	<i>Giraffe</i>	55	48 - 69	47	41 - 52	49
	<i>Caleo</i>	61	47 - 71	49	41 - 56	51
	<i>8000SC</i>	57	49 - 73	48	41 - 56	51
<b>Com ventilação mecânica</b>	<i>Isolette C2000</i>	53	47 - 63	48	45 - 51	49
	<i>Giraffe</i>	56	50 - 66	50	46 - 54	51
	<i>Caleo</i>	56	51 - 61	51	45 - 52	52
	<i>8000SC</i>	56	50 - 65	48	46 - 51	50
<b>Com CPAP nasal</b>	<i>Isolette C2000</i>	63	57 - 72	59	47 - 66	60
	<i>Giraffe</i>	62	58 - 68	59	52 - 64	60
	<i>Caleo</i>	-	-	-	-	-
	<i>8000SC</i>	66	58 - 71	62	45 - 66	63

Tabela 20- Valores do  $L_{eq}$ ,  $L_{min}$  e  $L_{90}$  para incubadoras com RN e em análise de blocos de 1h

O  $L_{eq}$  dentro das incubadoras com RN com CPAP nasal ronda os 64dB e o ruído de fundo é 60dB. 90% do tempo o ruído está acima de 60dB. Estes valores comprovam que o ruído proveniente do CPAP nasal é efectivamente muito elevado.

O  $L_{eq}$  dentro das incubadoras com RN com ventilação invasiva é 56dB. O ruído de fundo e o  $L_{90}$  é cerca de 49dB.

O  $L_{eq}$  na presença de CPAP nasal varia entre os 57 e os 72dB, na presença de ventilador invasivo varia entre os 47 e os 66dB e quando não existe qualquer tipo de ventilação varia entre os 47 e os 74dB. Este intervalo de valores tão acentuado no caso de não haver ventilação indica que existe uma grande variação na amplitude do ruído registado. Uma vez que nesta situação a média do  $L_{eq}$  é 57dB e o ruído de fundo é igual ao ruído de fundo das incubadoras (cerca de 49dB) tudo indica que existe uma grande contribuição de ruído impulsivo dentro das incubadoras de RN sem ventilação.

Os RN com ventilação invasiva ou com CPAP nasal encontram-se em ambientes monótonos. Uma vez que não podem sair da incubadora e são evitadas manipulações desnecessárias as contribuições para o ruído que os envolve deve-se quase exclusivamente aos ruídos provocados pelos ventiladores, incubadoras e pelo ruído ambiental atenuado. Os RN com ventilação invasiva não conseguem produzir som uma vez que o tubo endotraqueal atravessa as cordas vocais. Além de não chorarem estes RN não se movimentam muito tornando a sua contribuição para o ruído total desprezável. No caso dos RN com CPAP nasal já existe uma contribuição dos ruídos emitidos pelo RN mas esta é muito pequena uma vez que estes RN ainda se encontram muito debilitados.

Os RN sem suporte ventilatório encontram-se em ambientes acusticamente diversificados uma vez que podem sair da incubadora para o colo, sofrem mais manipulações e choram com maior intensidade.

Perante estas duas realidades tão diferentes e com base no que foi observado na análise dos dados obtidos em blocos de 1h conclui-se que o ruído de uma incubadora com RN sem ventilação tem um carácter impulsivo muito maior que os ruídos das incubadoras com RN com ventilação invasiva ou com CPAP nasal. Optou-se então por analisar novamente todos os dados referentes a incubadoras ocupadas, desta vez em blocos de 3, 6, 12 e 24 horas. Pretende-se deste modo avaliar e caracterizar melhor as diferenças de ruído entre entres os diversos tipos de ventilação.

Tal como no tratamento em blocos de 1h, também para estes novos blocos foram traçados 2 gráficos por medição, obtiveram-se deste modo 228 gráficos. Observando os gráficos obtidos para cada medição verifica-se que à medida que se agrupa os resultados em blocos de horas maiores consegue-se estabilizar melhor as rectas do  $L_{eq}$  e compreender melhor as diferenças de  $L_{eq}$  características para incubadoras com RN sem ventilação e incubadoras com RN com ventilação invasiva, que antes não apareciam de forma tão clara.

Na Tabela 21 encontram-se a média dos  $L_{eq}$  e  $L_{90}$  para cada combinação incubadora/ventilação tratada em blocos de 12 horas.

		$L_{eq}$ (dB)	Variação $L_{eq}$ (dB)	$L_{90}$ (dB)
<b>Sem ventilação</b>	<i>Isolette C2000</i>	61	52 - 69	49
	<i>Giraffe</i>	57	53 - 62	48
	<i>Caleo</i>	62	57 - 68	48
	<i>8000SC</i>	59	55 - 66	48
<b>Com ventilação mecânica</b>	<i>Isolette C2000</i>	55	51 - 57	48
	<i>Giraffe</i>	57	53 - 61	50
	<i>Caleo</i>	56	54 - 57	52
	<i>8000SC</i>	58	54 - 60	49
<b>Com CPAP nasal</b>	<i>Isolette C2000</i>	63	59 - 69	60
	<i>Giraffe</i>	63	61 - 65	60
	<i>Caleo</i>	-	-	-
	<i>8000SC</i>	67	65 - 69	63

Tabela 21 - Valores do  $L_{eq}$  e  $L_{90}$  para incubadoras com RN e em análise de blocos de 12h

Conclui-se assim que o  $L_{eq}$  em incubadoras com RN com CPAP nasal é efectivamente 64dB, e que 90% do tempo o ruído encontra-se acima dos 60dB, valor que ultrapassa em 15dB a recomendação da OMS quanto aos níveis de ruído da UCIN. Também se confirma que o ruído de fundo é 60dB, valor constante que caracteriza o funcionamento do CPAP nasal

O  $L_{eq}$  em incubadoras com RN com ventilação invasiva ronda os 57dB e 90% do tempo está a 50 dB, valor 5 dB acima do recomendado pela OMS.

O  $L_{eq}$  em incubadoras com RN sem ventilação ronda os 60dB mas 90% do tempo encontra-se nos 48dB. O que significa que existem períodos com picos altos de ruído que fazem subir a média do  $L_{eq}$  mas na maioria do tempo o ruído não é tão alto como nos casos em que o RN está em suporte ventilatório. Confirma-se assim a existência de muito ruído impulsivo nas incubadoras de RN sem ventilação consistente com as melhores condições destes RN.

Verifica-se deste modo que existe uma grande diferença, de cerca de 10dB entre o ruído que está sujeito um RN em CPAP nasal, e o ruído a que está sujeito um RN sem ventilação ou em ventilação invasiva.

Em suma verificou-se que os valores de ruído de funcionamento das incubadoras são os indicados pelo fabricante, mesmo no caso de as incubadoras já terem alguns anos, como é o caso das incubadoras 8000SC existentes na UCIN do hospital Dona Estefânia. Verificou-se ainda que as incubadoras atenuam o ruído entre 8 a 3 dB dependendo da incubadora em questão.

Percebeu-se que o ruído ambiental na UCIN é sempre superior em pelo menos 10dB ao ruído recomendado, mas que no caso dos RN com CPAP esse valor excessivo é indiferente porque o ruído provocado pelo próprio equipamento de CPAP é superior ao ruído na unidade. O ruído de CPAP encontra-se 90% do tempo acima dos 60dB sendo o  $L_{eq}$  64dB, trata-se de um ruído constante que apenas acaba quando se desliga o fluxo de ar do equipamento (fluxo de ar que permite aos alvéolos pulmonares não colapsarem). O ruído proveniente da ventilação invasiva é 57dB e 90% do tempo está acima dos 50dB. Trata-se igualmente de constante. Já no caso de RN sem ventilação o ruído é 60dB mas o  $L_{90}$  tem o valor mais baixo de 48dB. Devido a uma autossuficiência respiratória estes RN são mais activos quer em movimentos quer na produção de sons e choro, e podem ser retirados das incubadoras pelos pais, o que faz com que estejam submetidos a picos de ruído altos mas não a ruídos altos constantes no tempo.

## 4.2. Estudos audiológicos

Ao todo foram estudados 8 RN internados na UCIN do hospital Dona Estefânia. Realizaram-se com sucesso 134 exames de rastreio DPOEA e 3 exames de rastreio ABR durante um período de 30 dias compreendido entre as seguintes datas 07/07/2011 a 05/08/2012.

Foram realizados estudos de caso para cada um dos oito RN com base na análise dos relatórios de rastreio DPOEA e ABR, e nas informações recolhidas sobre cada RN. Com o objectivo de compreender a evolução da integridade da função coclear perante as condições ototraumáticas a que estes RN estão sujeitos, foram traçados quatro gráficos de evolução temporal para cada RN (dois por ouvido). Foi traçado o gráfico da evolução temporal do exame de rastreio e foi traçado o gráfico da evolução temporal da folga dos resultados. Em ambos os gráficos encontram-se indicados os períodos que o RN esteve com ventilação e os períodos que esteve sob condições passíveis de influenciar a função das células cocleares. [15]

No gráfico da evolução temporal do exame de rastreio é indicado para quantas frequências  $f_2$  testadas o RN conseguiu obter classificação *Pass*. Ao todo são testadas 4 frequência e para passar no rastreio tem de obter-se classificação *Pass* em pelo menos 3. Foi posteriormente traçada a recta entre as melhores prestações de cada dia. A região de fundo encarnado do gráfico é referente a um resultado *Refer* no exame, e a região verde referente a um resultado *Pass*. Neste gráfico é também indicado o resultado, *Pass* ou *Refer*, dos exames de rastreio ABR.

Como se disse acima, foi também traçada para cada RN, o gráfico da evolução temporal da folga dos resultados do exame de rastreio DPOEA. A folga parcial para uma determinada frequência  $f_2$ , foi definida como sendo a diferença entre a amplitude mínima necessária para obter a classificação *Pass* (ver Tabela 11) e a amplitude obtida no exame de rastreio (i.e. OAE-NF da Figura 29). A soma das diferenças obtidas para as quatro frequências  $f_2$  constitui então a folga de resultados desse exame de rastreio. A partir de dada altura foram efectuadas três medições por avaliação. Foram traçadas então nos gráficos da evolução temporal três rectas unindo as melhores, as medianas e as piores prestações diárias respectivamente.

Apresenta-se de seguida a informação dos RN e os 4 gráficos comentados para cada caso.

RN R.M.

Informações do RN R.M.	
Doente n.º	11025711
Data de nascimento	04/07/2011
Semanas de gestação	32 semanas
Classificação	Pré-termo limiar
Peso	1310g
Sexo	Feminino
Índice de Apgar	9 10
Ventilação	Ventilação invasiva 8h à nascença e CPAP nasal 10h à nascença
Medicação ototóxica	Entre 04/07 a 07/07
Icterícia	Entre 05/07 e 10/07

Tabela 22 - Informações do RN R.M.

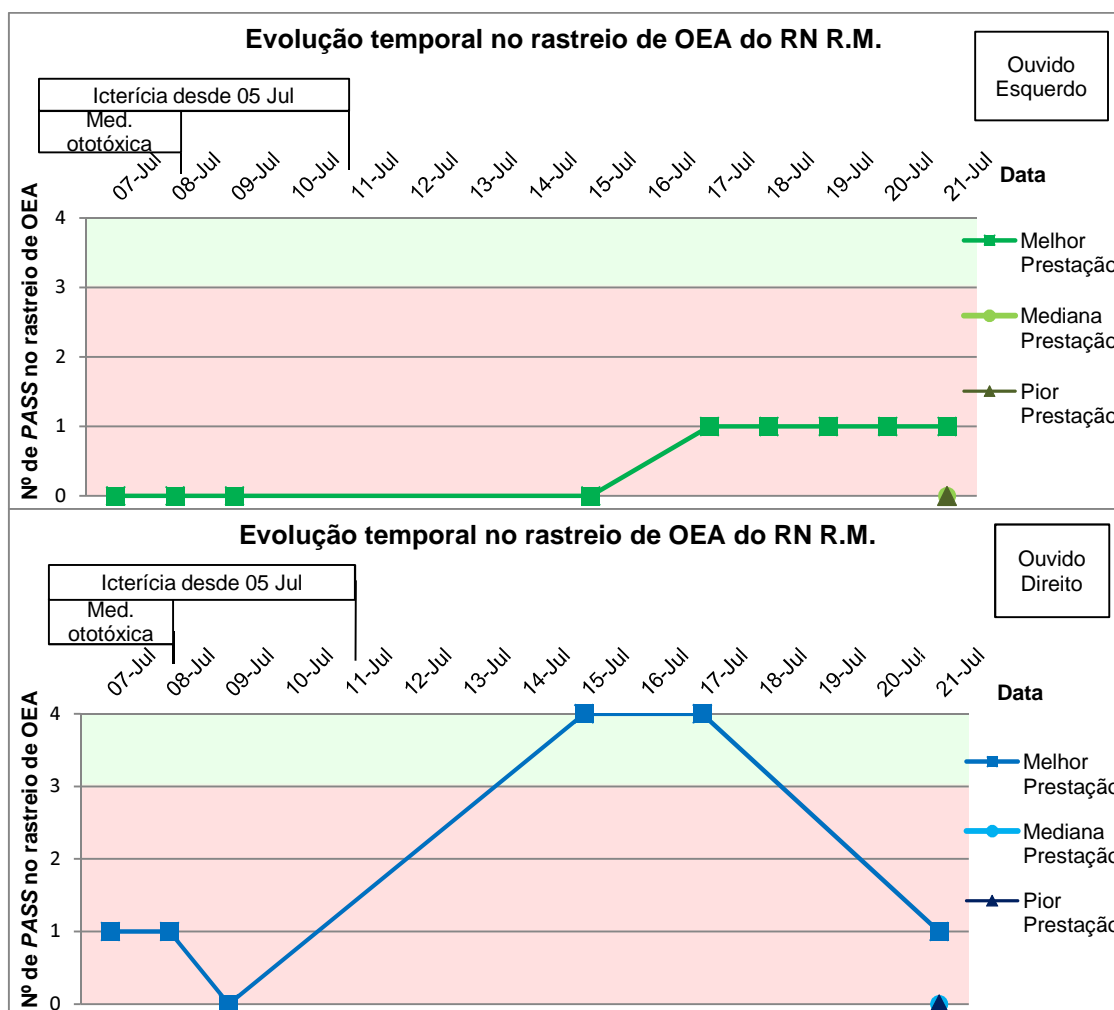


Figura 36 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN R.M.



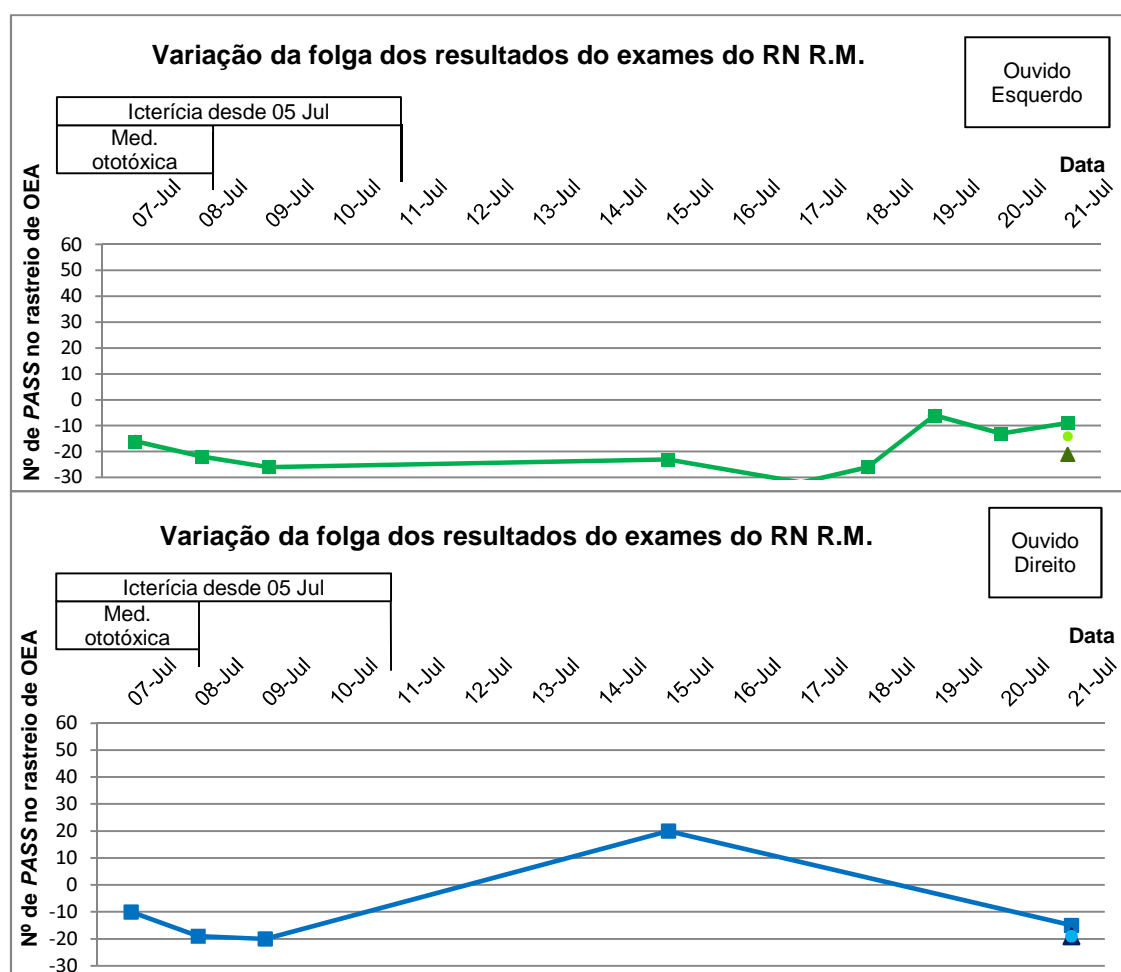


Figura 37 - Gráfico da folga dos resultados do RN R.M.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Trata-se de um pré-termo limiar que esteve ventilado apenas nas primeiras 18 horas de vida (8h em ventilação invasiva e 10h em CPAP). Foram realizados 11 exames de rastreio OEA em 9 dias ao ouvido esquerdo tendo sido obtida a classificação *Refer* em todos os exames. Ao ouvido direito apenas se conseguiu realizar 8 exames de rastreio OEA em 6 dias porque o RN por vezes encontrava-se muito agitado. Foi obtida classificação *Pass* no ouvido direito em duas ocasiões. No entanto obteve-se classificação *Refer* após se ter obtido *Pass* sem haver nesse intervalo temporal nenhum factor passível de influenciar as células cocleares. Esta observação e o facto de o RN se encontrar bastante activo e por vezes incomodado durante a realização dos exames, lança a suspeita sobre a fiabilidade dos resultados *Refer* obtidos.

## RN A.V.

Informações do RN A.V.	
Doente n.º	11028822
Data de nascimento	20/07/2011
Semanas de gestação	40 semanas
Peso	3260g
Classificação	Termo
Sexo	Masculino
Índice de Apgar	9 10
Ventilação	Não esteve ventilado
Medicação ototóxica	Entre 26/07 a 02/08
Icterícia	Não teve
Sépsis	Não teve

Tabela 23 - Informações do RN A.V.

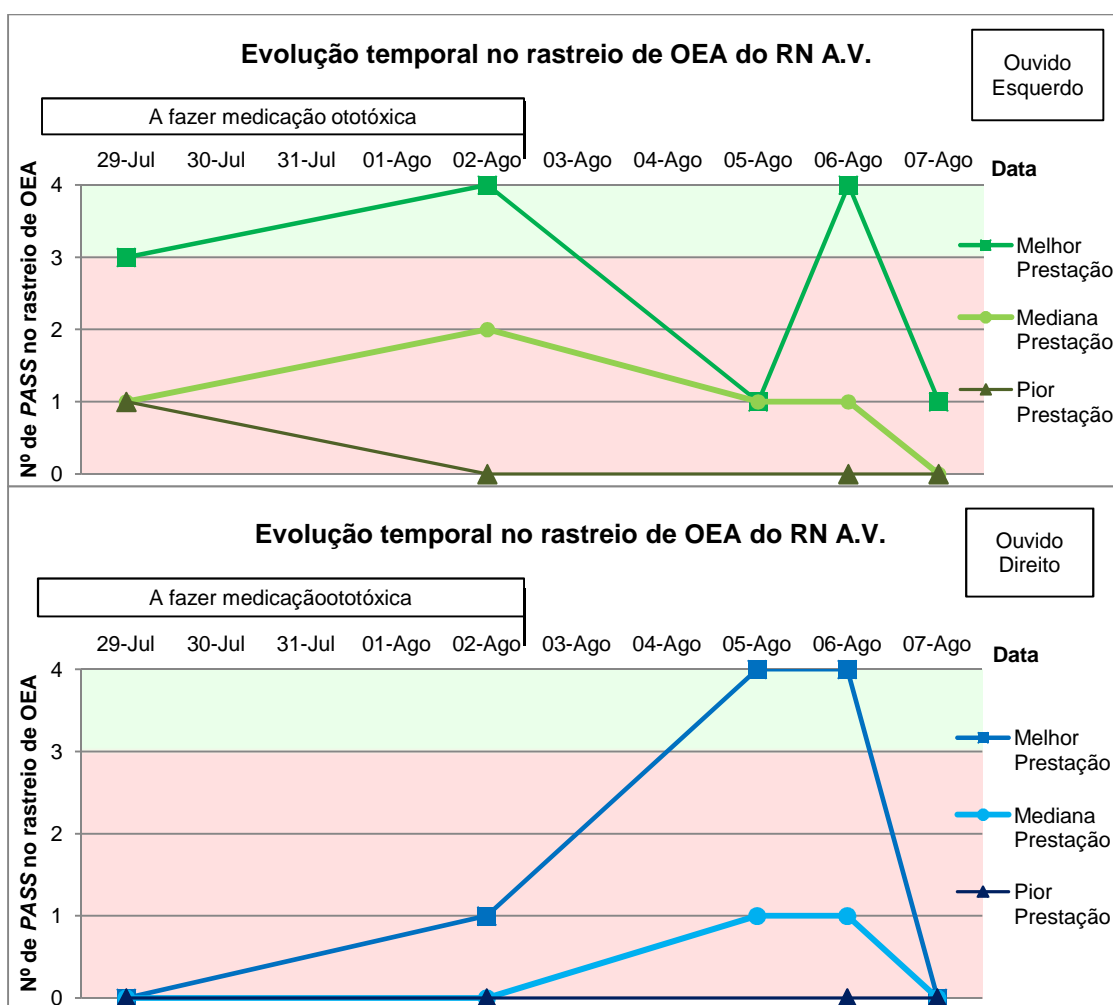


Figura 38 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN A.V.

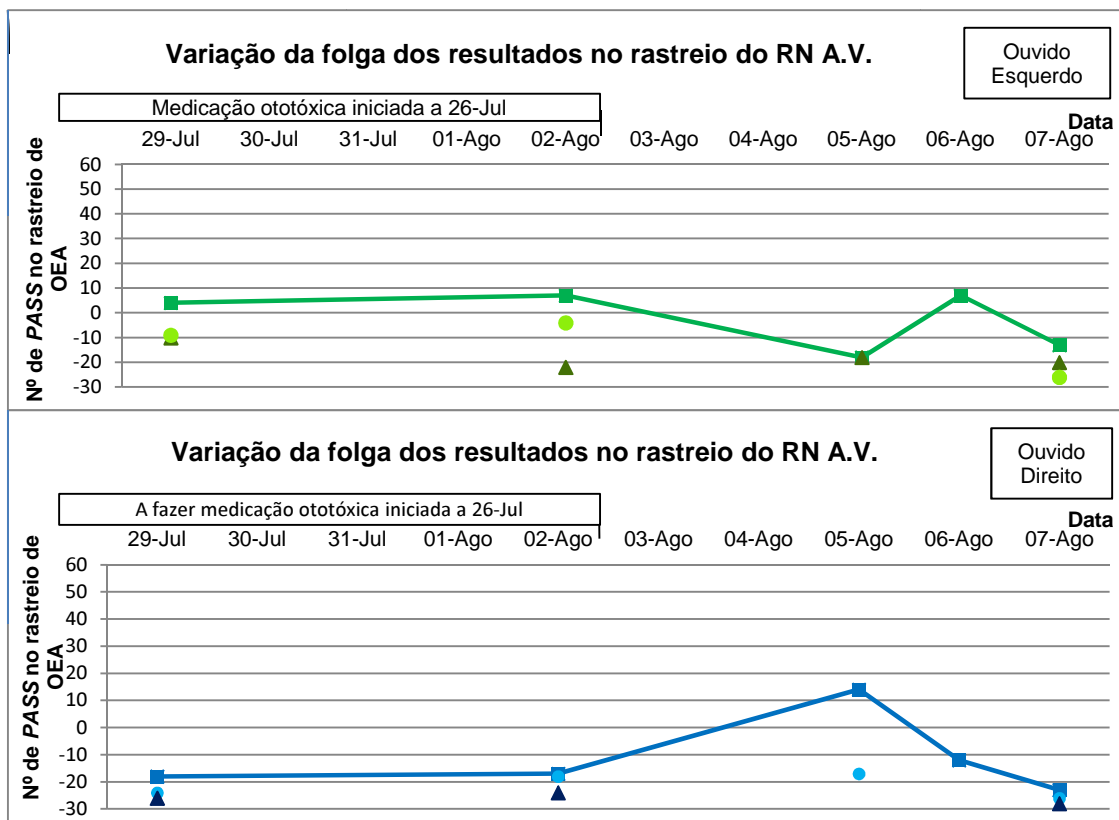


Figura 39 - Gráfico da folga dos resultados do RN A.V.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Trata-se de um RN de termo que nunca necessitou de ajuda respiratória. Foram realizados 14 exames de rastreio OEA em 5 dias a ambos os ouvidos. Para o ouvido esquerdo obteve-se classificação *Pass* em 3 exames e para o ouvido direito em 2. Uma vez que a integridade da cóclea do ouvido esquerdo foi atestada ao 6 e último dia de ter sido administrada medicação ototóxica não há qualquer relação entre os resultados *Refer* obtidos para este RN e a administração destes medicamentos. Verifica-se que nos dias 06/08 e 07/08 obteve-se classificação *Refer* em dois dos três exames de rastreio realizados ao ouvido direito e classificação *Pass* em um dos três exames realizados. Esta diferença de resultados obtidos para o mesmo dia leva à conclusão que os exames de rastreio nem sempre são realizados correctamente o que contribui para a existência de um número elevado de casos em que se obtêm falsos positivos.

Este RN é de termo, tem um peso adequado à sua idade e não realizou qualquer tipo de ventilação, obteve resultado *Refer* em 82% dos exames de rastreio realizados mas não em exames consecutivos. O facto de ter obtido classificação *Pass* 18% das vezes e intercalada com classificação *Refer* indica-nos que não há perda da função da célula ciliada mas sim erros na realização dos exames. Este caso é um bom exemplo das dificuldades inerentes à realização de exames de rastreio OEA em UCIN mesmo quando os RN são de termo e não têm ventilação.

## RN S.F.

Informações do RN S.F.	
Doente n.º	11028222
Data de nascimento	22/07/2011
Semanas de gestação	28 semanas
Classificação	Grande pré-termo
Peso	900g
Sexo	Feminino
Índice de Apgar	7 8 9
Ventilação	Ventilação invasiva 8h à nascença CPAP nasal 11h à nascença
Medicação ototóxica	Entre 22/07 a 29/07 e entre 02/08 e 07/08
Icterícia	Entre 23/07 e 24/07
Sépsis	Não teve

Tabela 24 - Informações do RN S.F.

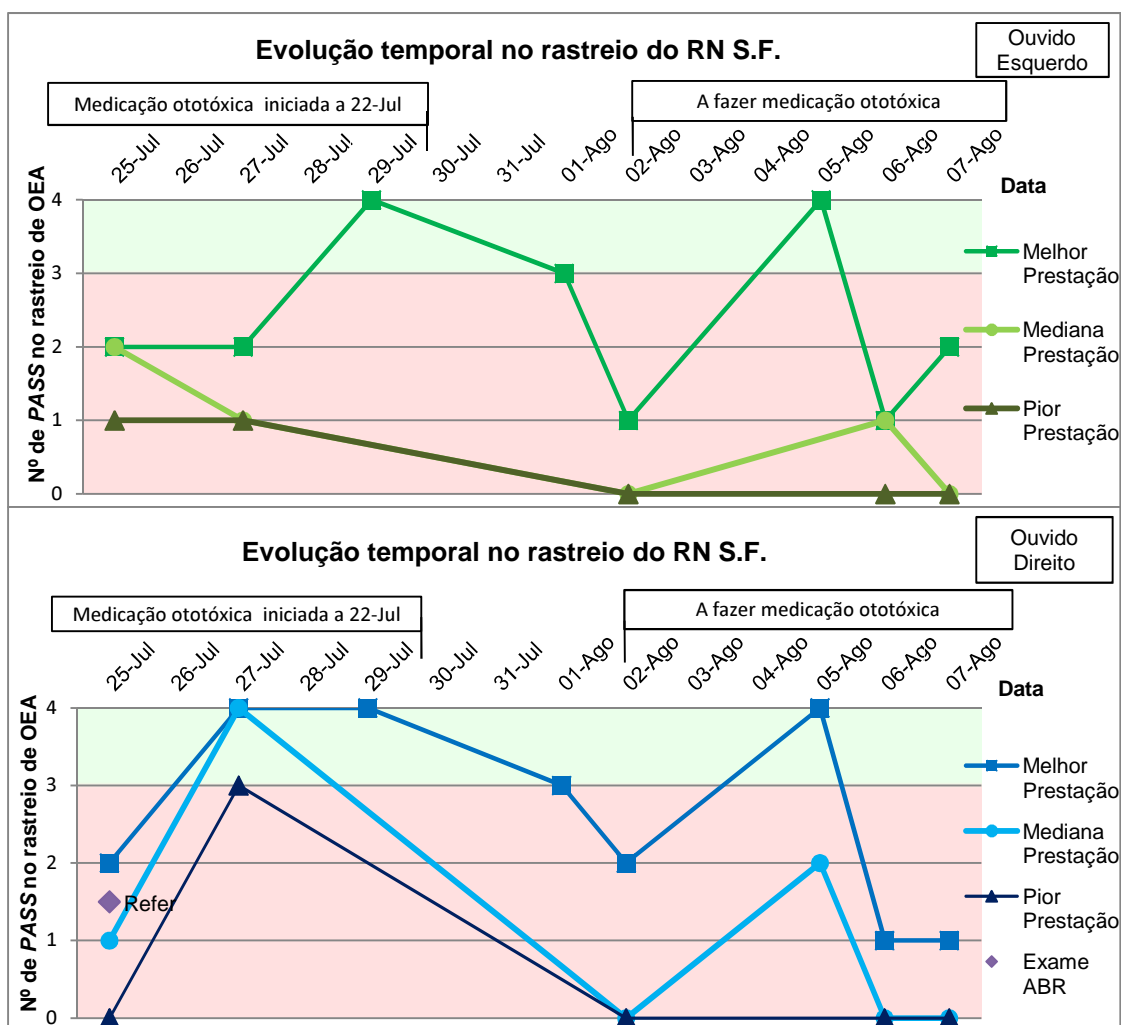


Figura 40 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN S.F.

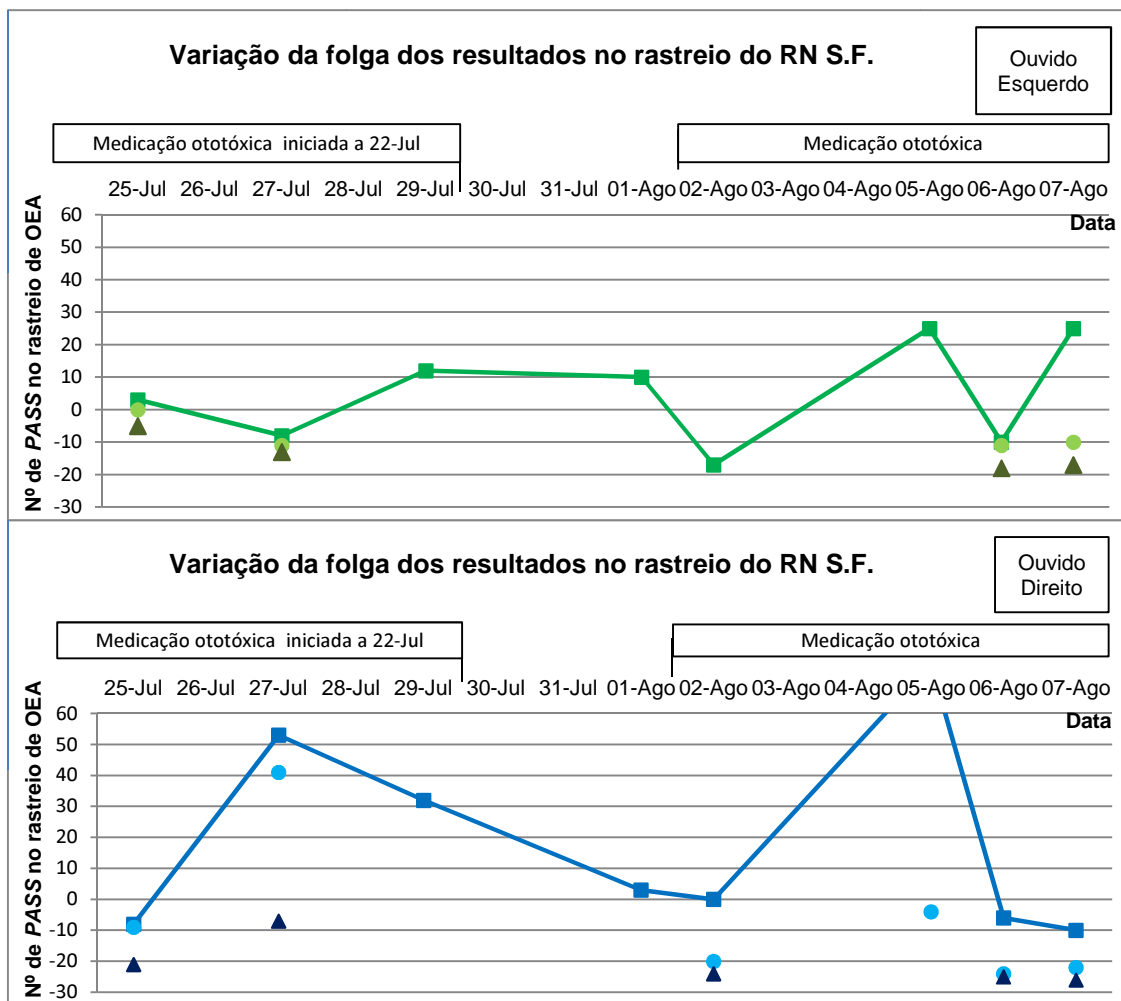


Figura 41 - Gráfico da folga dos resultados do RN S.F.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Este RN é um grande pré-termo que apenas necessitou de ventilação durante as primeiras 19h de vida (8h ventilação invasiva e 11h CPAP nasal). Foram realizados 18 exames de rastreio OEA em 8 dias ao ouvido esquerdo tendo sido obtida classificação *Pass* em 3 exames. Tentou-se realizar exame de rastreio ABR a este ouvido mas não se conseguiu. Ao ouvido direito foram realizados 19 exames de rastreio OAE em 8 dias onde se obtiveram 6 vezes a classificação *Pass*. Conseguiu-se realizar exame de rastreio ABR tendo sido obtida classificação *Refer*, este exame demorou muito tempo a ser realizado (19min e 10s) porque diversas vezes o sinal electromagnético sentido na sala era demasiado elevado comparativamente ao sinal dos potenciais do tronco cerebral e a avaliação tinha de ser interrompida. Estas interrupções sucessivas levaram à existência de torna o resultado *Refer* um resultado de pouca confiança. Este resultado foi contrariado dos dias mais tarde quando o RN obteve classificação *Pass* no exame de rastreio OEA para o mesmo ouvido.

RN S.N.

Informações do RN S.N.	
Doente n.º	11027287
Data de nascimento	12/07/2011
Semanas de gestação	27 semanas
Classificação	Grande pré-termo
Peso	1000g
Sexo	Feminino
Índice de Apgar	8 9
Ventilação	Vent. invasiva de 15/07 a 01/08 CPAP de 12/07 a 14/07 e de 02/08 a 05/08
Medicação ototóxica	Entre 17/07 a 22/07 e a 28/07
Icterícia	Ente 13/07 a 16/07, e 19/07 a 21/07
Sépsis	Não teve

Tabela 25 - Informações do RN S.N.

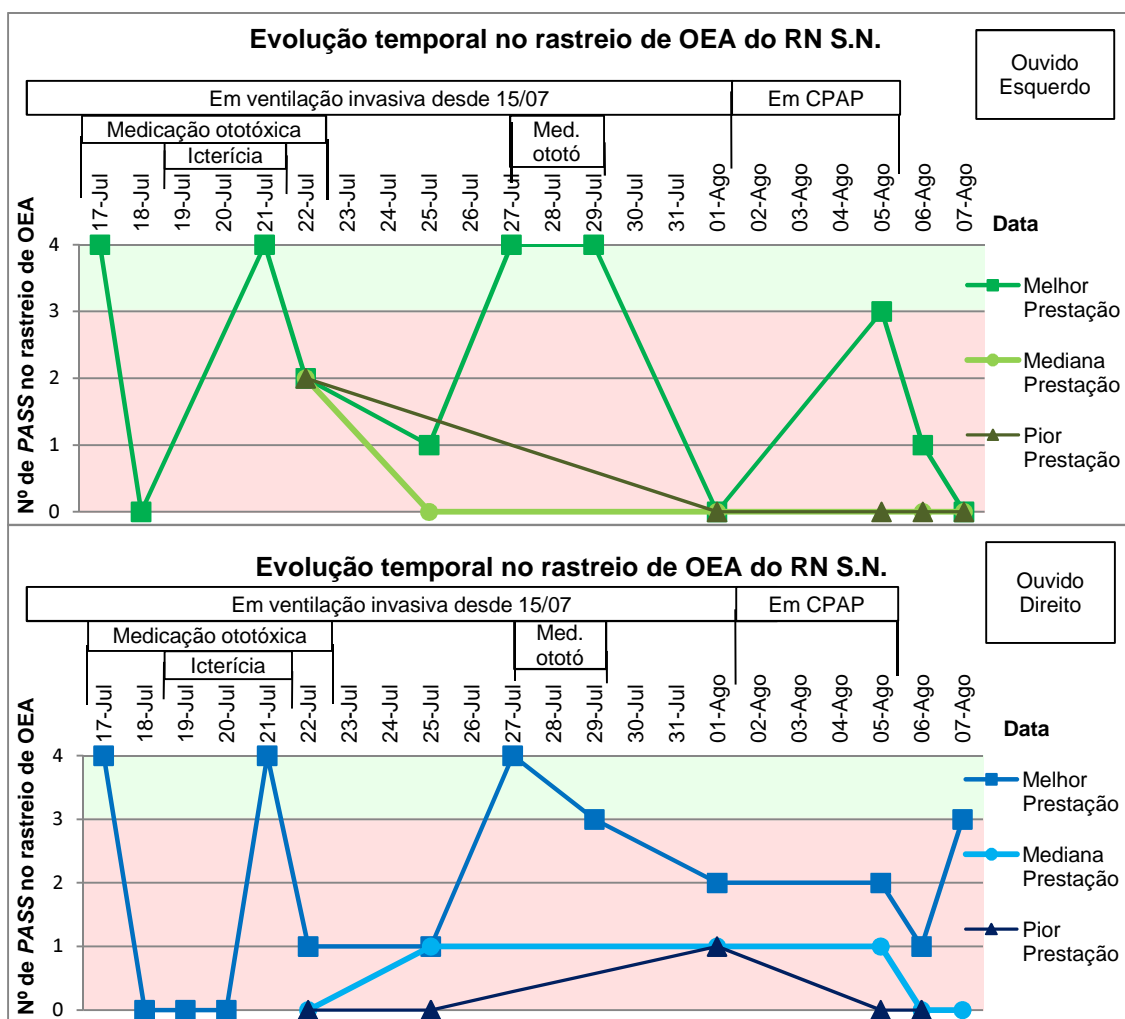


Figura 42 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN S.N.

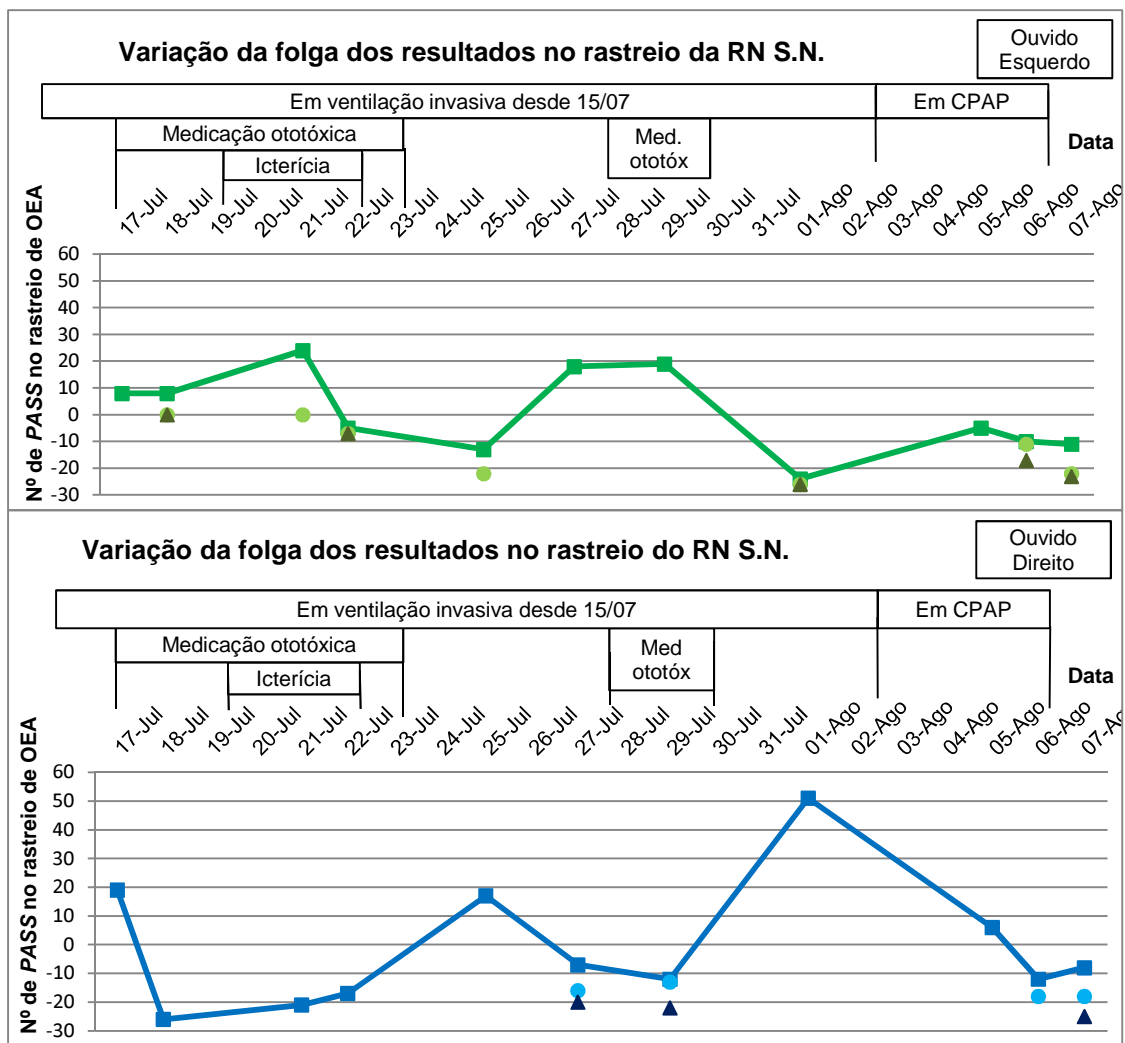


Figura 43 - Gráfico da folga dos resultados do RN S.N.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Trata-se de um grande pré-termo que deu entrada ao terceiro dia de vida na UCIN do hospital Dona Estefânia. Como foi submetido a uma cirurgia nesse mesmo dia apenas se realizou exame de rastreio OEA ao quinto dia de vida, tendo sido obtida classificação *PASS* para ambos os ouvidos não obstante o facto de estar com ventilação invasiva. Após este primeiro exame foram realizados mais 20 exames ao ouvido esquerdo em 10 dias e onde se obtiveram 5 classificações *Pass*, e 23 exames ao ouvido direito em 12 dias e onde se obtiveram 5 classificações *Pass*. O facto de a primeira avaliação realizada ter confirmado a integridade da cóclea e as avaliações subsequentes apresentarem uma alternância entre resultados *Pass/Refer* independente dos factores de ventilação e medicação ototóxica, permite-nos concluir a existência de erros na realização dos exames de rastreio de OEA. Neste caso particular esses erros podem ser atribuídos à dimensão reduzida do canal auditivo externo do RN face à dimensão da ponta de prova colocada na sonda e à inexperiência dos operadores em realizar este procedimento. Durante o período

de quatro dias que esteve com CPAP apenas se conseguiu realizar OEA no último dia uma vez que o ruído emitido pelo equipamento é muito elevado e só ao quarto dia com ventilação CPAP é que o RN se apresentou suficientemente estável para poder ser desligado o fluxo durante a realização do exame de rastreio. Tentou efectuar-se exames de rastreio ABR por duas ocasiões mas não se conseguiu ler as impedâncias necessárias à realização do exame. Esta impossibilidade de leitura está relacionada com o ruído electromagnético sentido na unidade e possivelmente com a pouca aderência dos eléctrodos à pele do RN. Sendo o RN um grande pré-termo não é aconselhável limpar a pele com produtos à base de álcool tal como é recomendado aquando a colocação de eléctrodos.



# RN T.R.

Informações do RN T.R.	
Doente n.º	11023994
Data de nascimento	20/06/2011
Semanas de gestação	24 semanas
Classificação	Grande pré-termo
Peso	750g
Sexo	Masculino
Índice de Apgar	7 8 9
Ventilação	Vent. invasiva de 20/06 a 24/07 e de 28/07 a 07/08 CPAP de 25/07 a 27/07
Medicação ototóxica	Entre 20/06 a 30/06, 05/07 a 12/07, 17/07 a 21/07, 25/07 a 29/07 e 04/08 a 07/08
Icterícia	Entre 24/06 a 25/06 e 19/07 a 21/07
Sépsis	Entre 08/07 e 12/07 e 19/07 e 21/07

Tabela 26 - Informações do RN T.R.

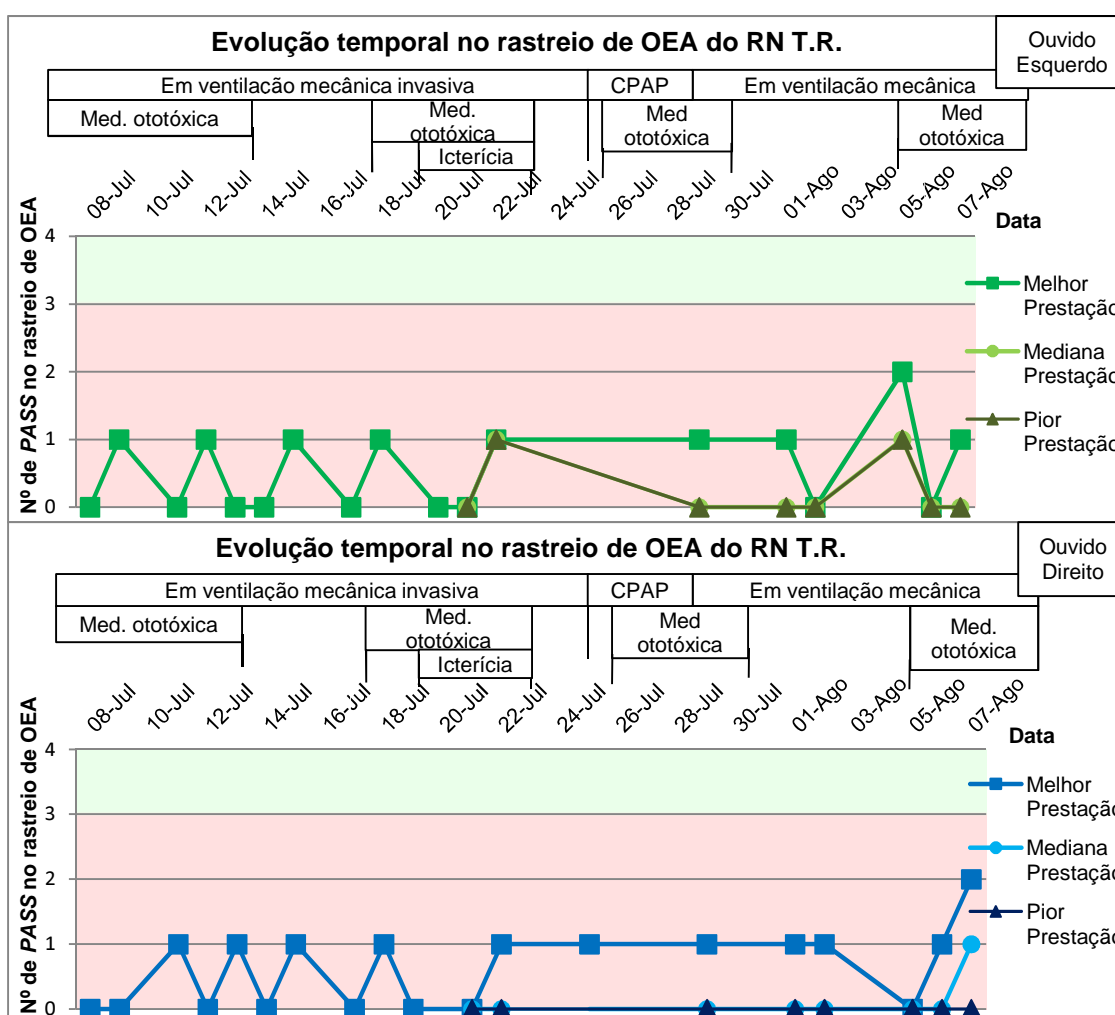


Figura 44- Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN T.R.

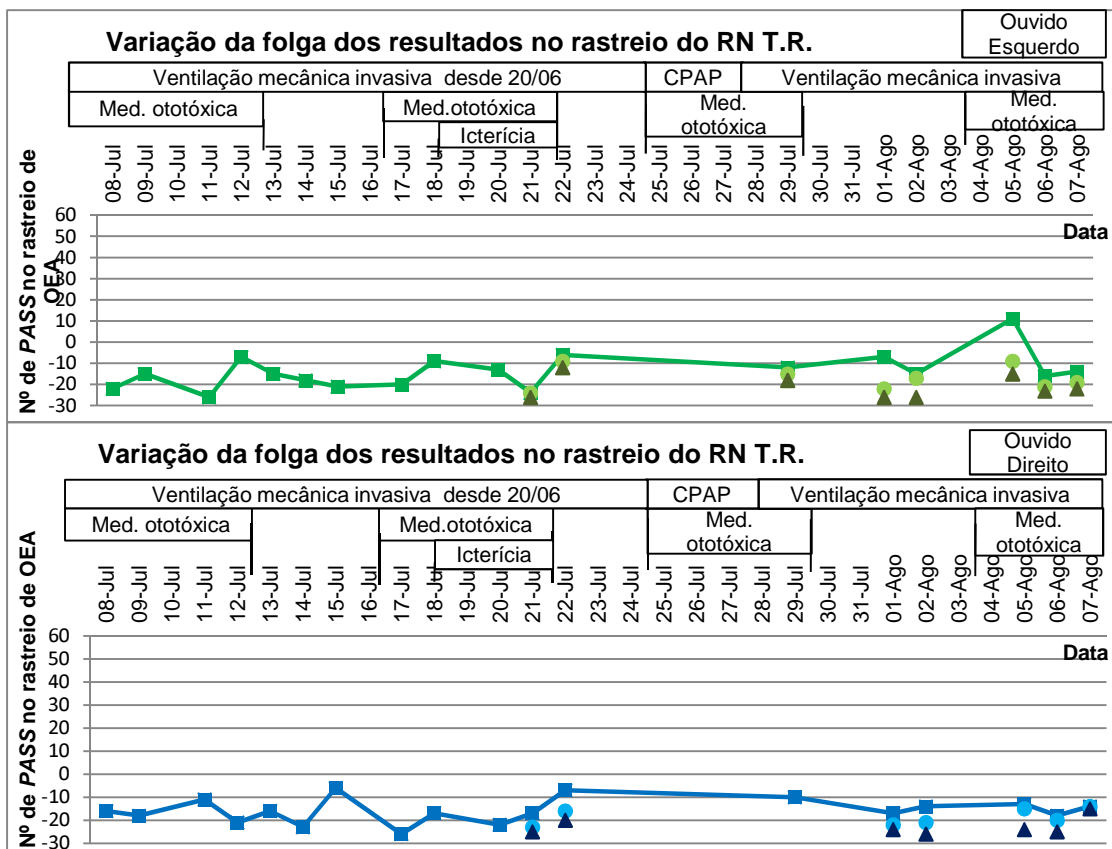


Figura 45 - Gráfico da folga dos resultados do RN T.R.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Trata-se de um RN grande pré-termo que esteve com ventilação invasiva desde o nascimento, foi colocado com CPAP nasal ao 35º dia de vida e teve de voltar a ser entubado e colocado com ventilação invasiva passados três dias. Realizaram-se 35 exames de rastreio de OEA tanto ao ouvido esquerdo como ao ouvido direito, tendo sido obtido em todos os exames a classificação *Refer*. Durante o período de três dias que esteve com CPAP não se conseguiram realizar exames de rastreio OEA devido ao ruído do fluo de ar no equipamento. Este fluxo de ar não se pode desligar devido à instabilidade do RN. Também se tentou em três ocasiões realizar exame de rastreio ABR sempre sem sucesso, embora neste caso duas das vezes foram lidas as impedâncias necessárias à realização do exame, mas a presença forte de ruído electromagnético na unidade fez com que o exame fosse abortado em todas as tentativas realizadas. Embora este RN tenha tido sempre resultado *Refer* devido às dificuldades inerentes, e que têm sido observadas, à realização deste tipo de exames na UCIN não se pode afirmar com confiança que existe patologia auditiva associada este RN. Mais não se pode verificar qualquer relação entre a utilização de ventilação (invasiva e CPAP) ou medição ototóxica e a perda de função coclear. Apenas nos últimos dois exames, já depois da administração de muita medicação ototóxica e ventilação este RN passou em 2 das 4 frequências testadas, o que leva à conclusão que neste caso os valores *Refer* obtidos não têm qualquer relação com a ventilação.

## RN F.A.

Informações do RN F.A.	
Doente n.º	11026216
Data de nascimento	07/07/2011
Semanas de gestação	38 semanas
Classificação	Termo
Peso	3175g
Sexo	Feminino
Índice de Apgar	9 10
Ventilação	Ventilação invasiva de 08/07 a 14/07
Medicação ototóxica	Entre 08/07 a 16/07
Icterícia	Entre 11/07 a 13/07
Sépsis	Não teve

Tabela 27 - Informações do RN F.A.

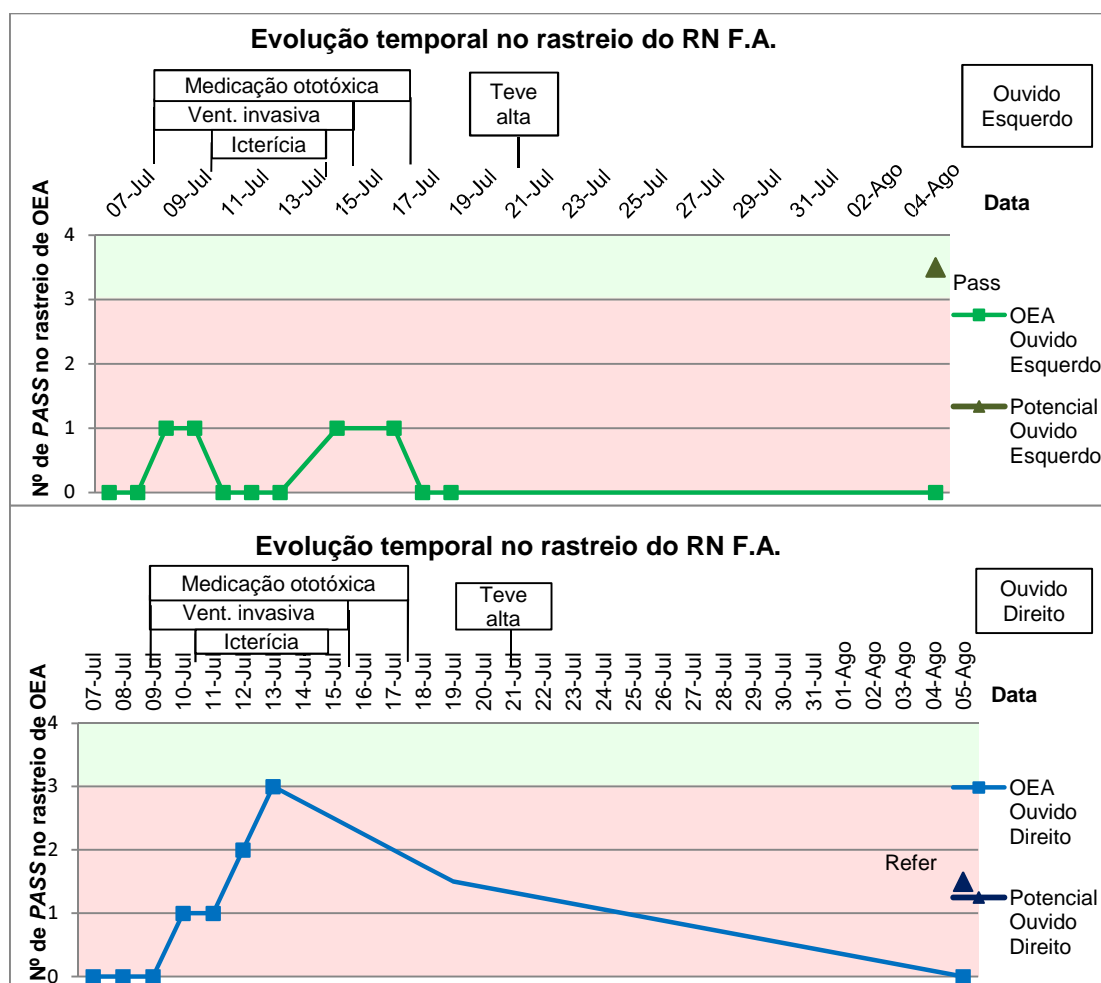


Figura 46 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN F.A.

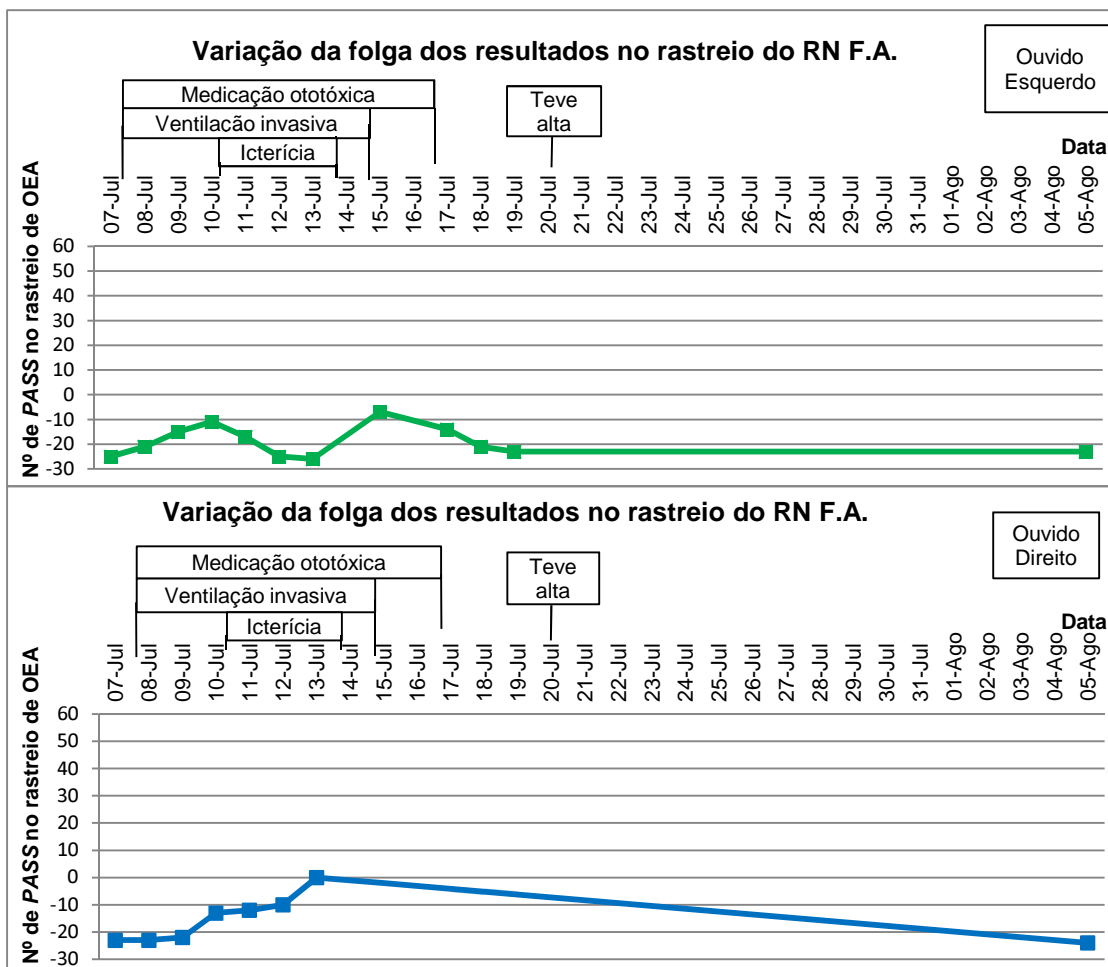


Figura 47 - Gráfico da folga dos resultados do RN F.A.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Este é um RN de termo que deu entrada na UCIN do Hospital Dona Estefânia com 4 horas de vida para ser operada no mesmo dia. Foi-lhe realizado um exame de rastreio de OEA antes da cirurgia, e portanto antes de ser ventilada e medicada. Obteve classificação *Refer* nesse exame para ambos os ouvidos, assim como em todos os outros efectuados durante o período de internamento na UCIN, com excepção do exame realizado a 13/07 em que apenas passou obteve classificação *Pass* para o ouvido direito. No dia 05/08 este RN foi avaliado na consulta de rastreio auditivo tendo obtido classificação *Refer* para ambos os ouvidos na exame de rastreio OEA e classificação *Pass* para o ouvido esquerdo e *Refer* para o ouvido direito no exame de rastreio ABR. Após ter sido retirada a ventilação invasiva a este RN foram realizadas um maior número de avaliações ao ouvido esquerdo comparativamente com o direito porque este RN apresentava-se sempre muito agitado impossibilitando a realização do exame aos dois ouvidos. É de salientar que este RN apresentava muitas secreções no canal auditivo durante a sua estadia na UCIN, a maioria das vezes a ponta de prova saía do canal auditivo completamente obstruída com secreções.

## RN M.C.

Informações do RN M.C.	
Doente n.º	11029664
Data de nascimento	01/08/2011
Semanas de gestação	26 semanas
Classificação	Grande pré-termo
Peso	870g
Sexo	Masculino
Índice de Apgar	9 10
Ventilação	Ventilação invasiva de 01/08 a 07/08
Medicação ototóxica	Entre 01/08 a 06/08
Icterícia	07/07
Sépsis	05/08

Tabela 28 - Informações do RN M.C.

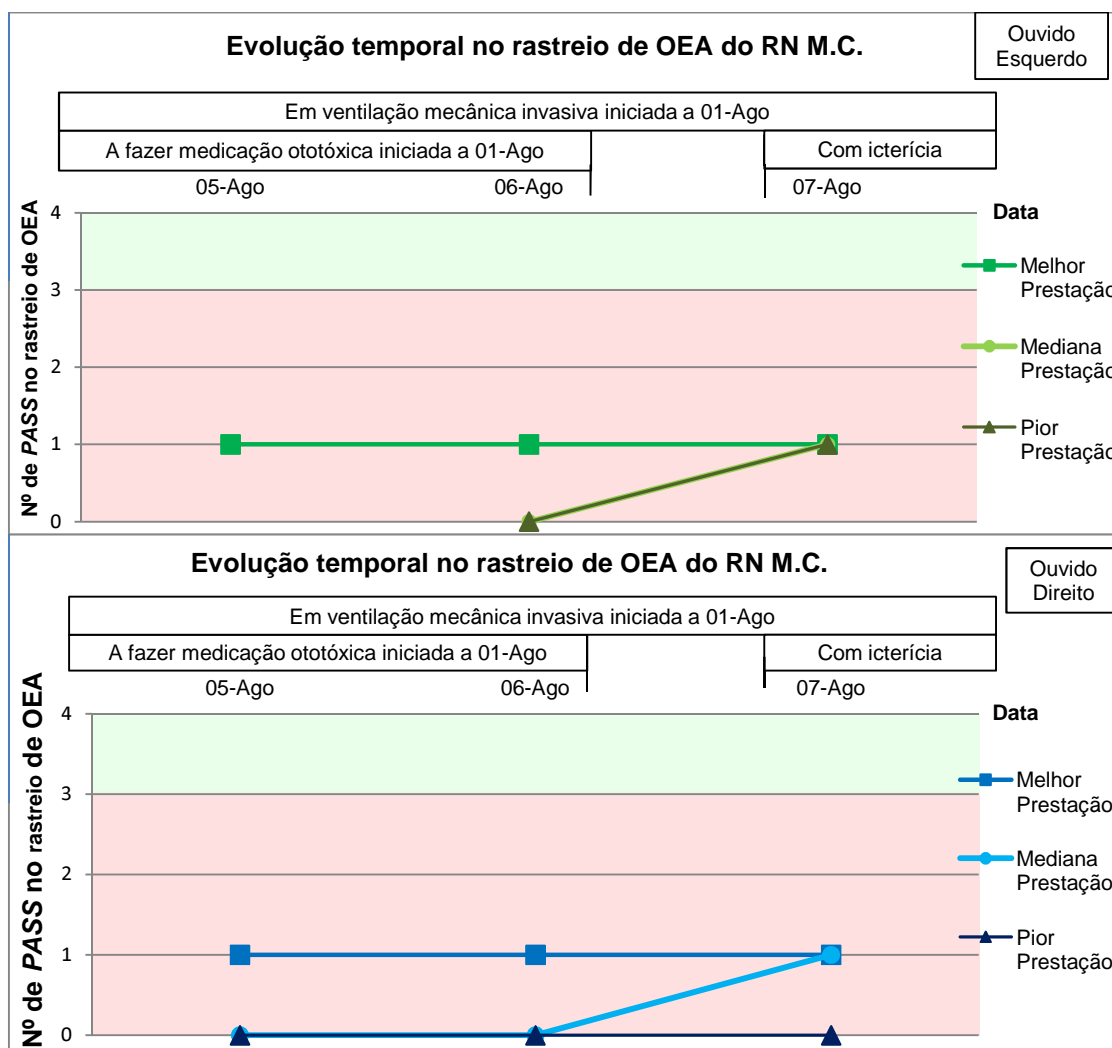


Figura 48 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN M.C.

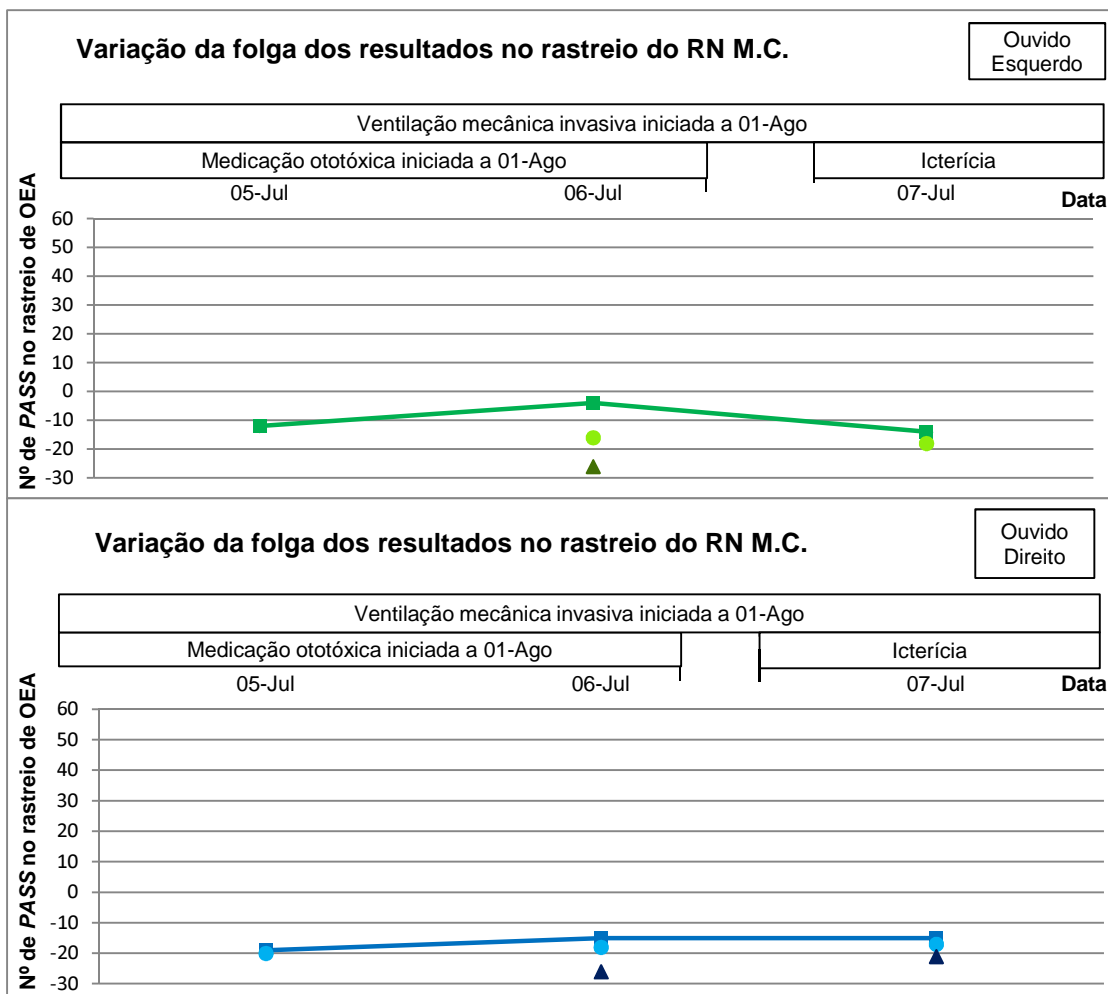


Figura 49 - Gráfico da folga dos resultados do RN M.C.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Trata-se de um RN grande pré-termo que nunca passou no exame de rastreio de OEA. Foram realizados 7 exames de rastreio OEA para o ouvido esquerdo e p para o ouvido direnti durante um período de 3 dias. Trata-se do segundo RN mais pequeno avaliado e no qual era possível observar a olho nu que o diâmetro da entrada do canal auditivo era menor que o diâmetro da ponta de prova descartável inserida na sonda. Estes resultados *Refer* podem então ser resultados falsos positivos devido à dificuldade de inserção da sonda e de vedação do ruído ambiental. É de notar que embora tenha o canal auditivo pequeno conseguiu verificar a existência de OEA numa frequência.

# RN S.L.

Informações do RN S.L.	
Doente n.º	11026064
Data de nascimento	30/06/2011
Semanas de gestação	38 semanas
Classificação	Termo
Peso	2290g
Sexo	Feminino
Índice de Apgar	7 9 10
Ventilação	Ventilação invasiva de 08/07 a 13/07
Medicação ototóxica	Entre 08/07 a 19/07
Icterícia	04/07
Sépsis	Não teve

Tabela 29 - Informações do RN S.L.

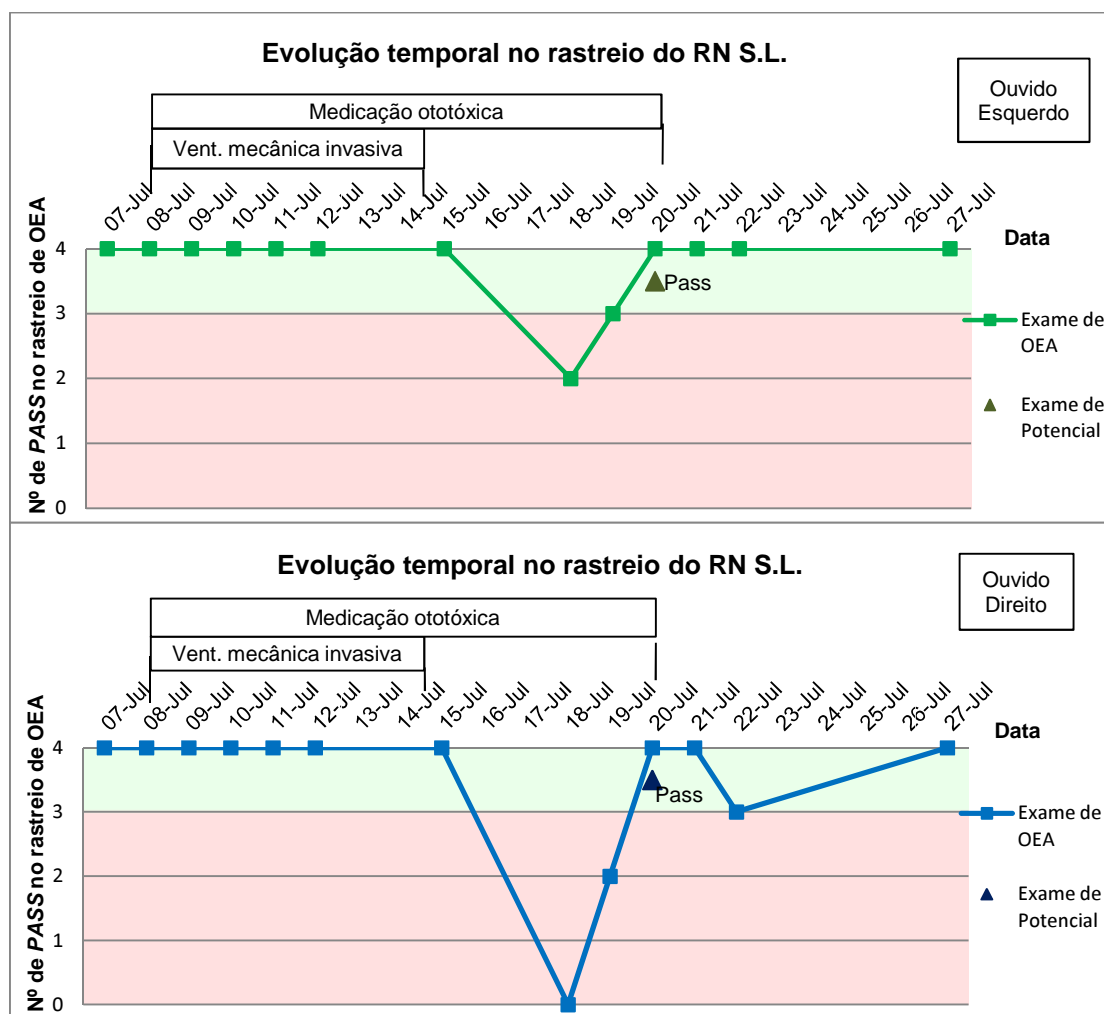


Figura 50 - Gráficos da evolução temporal do rastreio do RN S.L.

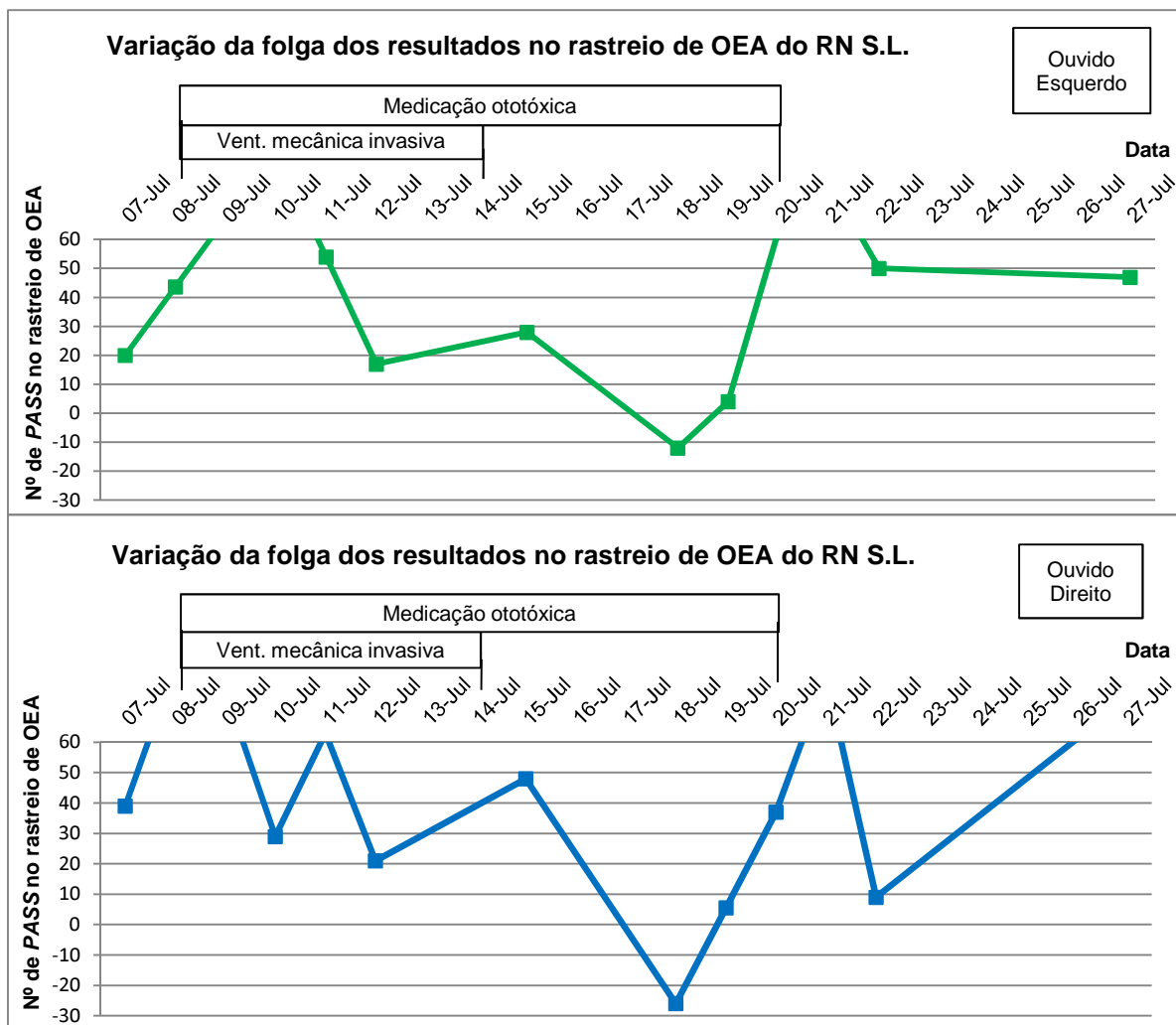


Figura 51 - Gráfico da folga dos resultados do RN S.L.

#### Observações sobre os resultados obtidos

Trata-se de um RN de termo que esteve com ventilação invasiva durante 5 dias. Durante esse período passou sempre no exame de rastreio de OEA e com valores de folga dos resultados bastante elevados. Após retirada a ventilação invasiva continuou a passar no exame com exceção de 2 ocasiões em que se encontrava extremamente agitada e incomodada com o exame tento tentado várias vezes retirar a sonda dos ouvidos.

Observando os gráficos acima não parece haver qualquer diferença entre os rastreios de OEA feitos durante e após a ventilação. Estes gráficos não revelam qualquer influência da ventilação invasiva sobre a sensibilidade das células auditivas. Foi realizado exame de rastreio ABR quando foi transferido da sala de cuidados intensivos para a sala de cuidados intermédios. O exame foi realizado com sucesso e com muito maior rapidez (1min e 27s, e 1min e 36s) do que quando se conseguiu realizar na sala de cuidados intensivos ( 19min e 10s) o resultado foi *Pass* para os dois ouvidos.



Em suma, após se ter estudado os resultados destes 8 RN não se conseguiu determinar qualquer relação entre a utilização de ventilação invasiva ou de CPAP nasal e a função coclear. Realizaram-se exames seriados com o objectivo de se determinar se existe alteração na função coclear quando RN está exposto quer a ventilação mecânica invasiva quer a CPAP nasal sendo este último mais perigoso devido ao seu ruído elevado. O que se obteve foi uma variabilidade de resultados sem nexos que não nos permitem traçar conclusões. As interferências do operador que realiza o exame em conjunto com as condições adversas da UCIN não permitiram que se conseguissem realizar com sucesso os exames de rastreio OEA. No caso do exame de rastreio ABR foram as condições da unidade o grande factor adverso ao sucesso destes exames.

Observando os resultados no global parece haver uma tendência de melhor resposta auditiva por parte do RN quando não está ventilado, no entanto não se consegue apurar se essa tendência é devido à integridade da função coclear ou devido a um número anormal de falsos positivos obtidos em RN ventilados ou em CPAP nasal.

Em comparação à realização de exames entre RN de termo e pré-termo verificasse que o equipamento de rastreio consegue realizar exames de rastreio de OEA e ABR a RN pré-termo. No entanto a técnica de realização do exame não é fácil e concluiu-se por observação da realização dos exames e verificação dos seus resultados que a experiência do operador tem uma grande influência no resultado do exame dentro deste grupo de RN.

## 5. Conclusões

O objectivo inicial deste estudo era a determinar se o ruído produzido pelo fluxo de ar do CPAP nasal aplicado ao RN pode condicionar o risco de modificações nas células ciliadas cocleares. Para tal planeou-se inicialmente realizar estudos acústicos que permitissem quantificar e qualificar o ruído a que estes RN estão sujeitos. Planeou-se também realizar exames de rastreio auditivo seriados para avaliar a evolução temporal da função coclear.

Os estudos de ruído foram realizados com sucesso. Verificou-se que o ruído na UCIN do hospital Dona Estefânia está sempre pelo menos 10dB acima dos valores recomendados pela OMS, e que o próprio ruído intrínseco das incubadoras se encontra acima desse valor. O ruído intrínseco das incubadoras varia entre os 47 e os 51dB, dependendo do modelo de incubadora, e a OMS recomenda que o ruído na UCIN não ultrapasse os 45dB durante o dia e os 35dB durante a noite.

Também se conseguiu caracterizar o ruído a que um RN com CPAP nasal está sujeito. Esse ruído é em média 64dB, ultrapassando os 60dB 90% do tempo. Trata-se de um valor de ruído elevado e constante a que o RN está sujeito dia e noite durante o período de ventilação. No caso de se encontrar em ventilação invasiva o ruído a que o RN está sujeito desce para os 57dB estando 90% de tempo acima dos 50dB. Este valor ainda é elevado comparativamente à recomendação da OMS mas é muito inferior ao ruído a que está sujeito um RN com CPAP nasal. Uma vez que a escala dB não é linear, os efeitos nocivos do ruído proveniente do CPAP nasal são muito superiores aos efeitos nocivos do ruído proveniente dos ventiladores invasivos. O ruído a que um RN sem ventilação está sujeito é um ruído do tipo impulsivo com um  $L_{eq}$  igual a 60dB mas com um  $L_{90}$  de 48dB.

Existiu uma limitação ao estudo acústico: não se podia escolher em que incubadora ficava um RN a fazer determinada ventilação. Essa escolha é feita pelos profissionais de saúde com base no peso e comprimento do RN, nas incubadoras disponíveis e na preferência do profissional que faz a escolha. Devido a isto não se conseguiu obter o mesmo número de medições para cada conjunto incubadora/ventilação. Em particular não se conseguiu efectuar medições a nenhuma RN com CPAP nasal dentro de uma incubadora *Caleo*. Efectuaram-se um grande número de medições em incubadoras *Isolette C2000* por serem as que existem em maior número nesta UCIN.

Durante a realização dos exames auditivos ocorreram diversas complicações que impediram que os objectivos iniciais fossem cumpridos. Algumas dessas complicações estão associadas a aspectos técnicos da realização do exames e neles falarmos mais à frente. Outras complicações foram de causa maior, e impossíveis de controlar.

Dois dias após se ter iniciado o estudo da função coclear através da utilização do equipamento de rastreio *Abaer and OEA Hearing Screening System from Bio-logic* este avariou. Foram seguidos os procedimentos para que o equipamento fosse reparado mas passadas 15 semanas (2 meses e meio) o equipamento ainda não se encontrava reparado nem havia data de previsão quanto à devolução do mesmo. Ao fim destas 15 semanas o departamento de otorrinolaringologia do hospital Dona Estefânia cedeu o equipamento de rastreio utilizado nas consultas para se realizar este estudo, com a única contrapartida de apenas poder ser utilizado fora do horário de consulta. Esta contrapartida teve como efeito uma enorme variabilidade do operador a realizar os exames, uma vez que estes têm de ser realizados por médicos, e após o horário de consultas apenas se encontrava na UCIN o médico que fazia banco nesse dia. No total foram realizados exames em 23 dias por 12 médicos diferentes. Nenhum dos 12 médicos tinha realizado este exame até à data do estudo.

Durante as 15 semanas em que estivemos sem acesso a um equipamento de rastreio auditivo foi decretado o encerramento da maternidade do hospital Dona Estefânia. Houve deste modo uma diminuição no número de RN internado na UCIN o que não permitiu a realização de exames de rastreio a uma população tão elevada como inicialmente pretendido.

Perante estas adversidades optou-se por incluir no estudo RN em ventilação invasiva, que inicialmente não estavam previstos entrar.

Uma vez iniciado o estudo de avaliação da função coclear deparamo-nos com complicações provenientes da metodologia de abordagem. Estes influenciam a realização do exame de rastreio e resultaram no aparecimento de um grande número de falsos positivos e de resultados inconclusivos. Os problemas encontrados foram:

- O elevado ruído de fundo sentido na UCIN e o elevado ruído impulsivo com alarmes a disparar a todo o momento que interfere com a realização do exame de rastreio que tem de ser realizado em ambientes sem ruído
- O elevado ruído produzido pelo equipamento de CPAP nasal que impossibilita a realização de rastreio OEA e ABR aliado ao facto de em muitos casos não se poder desligar o fluxo de CPAP nasal durante a duração do exame devido à instabilidade do RN
- A dimensão reduzida da entrada do canal auditivo dos RN pré-termo comparativamente ao raio da ponta de prova colocada na sonda
- A inexperiência dos operadores (neste caso os médicos da UCIN) em realizar este tipo de exames que resultou num grande obstáculo. A grande maioria teve dificuldades de colocação da sonda

- Os RN sem suporte ventilatório encontraram-se na maioria das vezes extremamente agitados e incomodados com a realização do exame, chorando em umas ocasiões e arrancando a sonda do ouvido noutras.
- O forte ruído electromagnético existente na UCIN que impossibilitou a realização de exames de potenciais evocados auditivos
- Dois dos RN estudados apresentavam muitas secreções no ouvido

Perante as limitações acima descritas não se conseguiu estabelecer uma relação entre a utilização de ventilação e possíveis problemas auditivos, no entanto também não se eliminou a hipótese de não haver relação.

Conclui-se deste modo que o ruído provocado pelo equipamento de CPAP é muito elevado e devem ser realizados mais estudos para avaliar o impacto desse ruído na audição dos RN que passam pela UCIN. Para a realização de estudos futuros fazem-se as seguintes recomendações:

- Participação no estudo de um audiológico com experiência na área neonatal
- Realização dos exames auditivos durante as horas de sono dos RN
- Possível administração de um ligeiro sedativo nos casos em que o RN se encontra muito agitado durante a realização do exame auditivo
- Realização dos exames auditivos dentro de uma sala na UCIN vazia e isolada
- Utilização de pontas de prova de tamanho adequado

## Bibliografia

- [1] M. Patel, M. N. Nelson, R. White-Traut e P. Meleedy-Rey, "Use of the Box-Jenkins method to evaluate the physiologic response of normal and CNS-injured premature infants to environmental sound," *Newborn and Infant Nursing Reviews*, Vol 4, No 3, pp. 162-169, 2004.
- [2] S. M. Tsukuda e C. G. Scochi, "Ruídos na unidade de cuidado intensivo neonatal durante as passagens de plantão (enfermagem e/ou médica) e visita médica," *Ciência, Cuidado e Saúde* V.5, pp. 127-133, 2003.
- [3] A. P. O. Carvalho e L. F. Pereira, "Ruído em incubadoras e unidades de cuidados intensivos em neonatologia," *I Congresso Iberoamericano de Acústica*, pp. 247-250, 1998.
- [4] A. Suppiej et al, "Reliability of hearing screening in high-risk neonates: Comparative study of otoacoustic emission, automated and conventional auditory brainstem response," *International Federation of Clinical Neurophysiology (2007)*, 2006.
- [5] J. A. Salata, J. T. Jacobson e B. Strasnick, "Distortion-product otoacoustic emissions hearing screening in high-risk newborns," *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, pp. 37-43, 1998.
- [6] C. F. Martínez-Cruz, A. Poblano e L. A. Fernández-Carrocerá, "Risk factors associated with sensorineural hearing loss in infants at the Neonatal Intensive Care Unit: 15-year experience at the National Institute of Perinatology (Mexico City)," *Archives of Medical Research* n.39, pp. 686-694, 2008 .
- [7] B. Kellam e J. Bhatia, "Sound spectral analysis in the Intensive Care Nursery: Measuring high-frequency sound," *Journal of Pediatric Nursing*, Vol 23, N.4, 2008.
- [8] F. S. Aurélio e T. M. Tochetto, "Mensuração do ruído em uma Unidade de Terapia Intensiva Neonatal," *Acta Pediátrica Portuguesa* N.41, pp. 64-68, 2010.
- [9] "Committee to establish recommended standards for newborn ICU design," em *Report of the Sixth Consensus Conference on the Newborn ICU Design*, 2006.
- [10] R. A. Etze et al, "Noise: A hazard for the fetus and newborn," *American Academy of Pediatrics* Vol.100 N.4, pp. 724-727, 1997.
- [11] R. Dauman et al, "Screening to detect permanent childhood hearing impairment in neonates transferred from the newborn nursery," *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol* (2009), 2008.
- [12] R. E. Lasky e A. L. Williams, "Noise and light exposures for extremely low birth weight newborns during their stay in the neonatal intensive care unit," *American Academy of*

*Pediatrics* Vol.123, pp. 540-546, 2007.

- [13] J. L. Afonso e M. Dias, "Noise levels in the hospital environment," *TecnoHospital - Revista de Instalações e Equipamentos de Saúde* N.8, pp. 31-40, 2001.
- [14] J. I. Benito-Orejas et al, "Comparison of two-step transient evoked otoacoustic emissions (TEOAE) and automated auditory brainstem response (AABR) for universal newborn hearing screening programs," *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* Vol. 72, pp. 1193-1201, 2008.
- [15] L. Monteiro et al, "Recomendações para o Rastreo Auditivo Neonatal Universal (RANU)," *Acta Pediátrica Portuguesa*, pp. 209-214, 2007.
- [16] J. M. Crocker, em *Handbook of Acoustics*, New York, John Wiley & Sons Inc, 1998.
- [17] W. A. Yost, em *Fundamentals of Hearing*, California, Elsevier Academic Press, 5th Edition 2007.
- [18] F. A. Everest, em *Master handbook of Acoustics*, USA, McGraw-Hill, 4th edition 2001.
- [19] L. R. Drake, W. Vogl e A. W. M. Mitchell, em *Gray's Anatomy for Students*, Elsevier Academic Press, 2007.
- [20] J. A. Esperança Pina, em *Anatomia Humana da Relação*, Lidel, 2002.
- [21] A. Greenough e A. D. Milner, "Respiratory Support," em *Neonatal Respiratory Disorders* , Arnold, Hodder Headline Group, 2003, pp. 149-191;.
- [22] A. Greenough e A. D. Milner, "Fetal and postnatal anatomical lung development," em *Neonatal Respiratory Disorders* , Arnold, Hodder Headline Group, 2003, pp. 3-10.
- [23] B. H. Brown e S. e. al, "Audiology," em *Medical Physics and Biomedical Engineering*, UK, IOP Bookmarkers, 1999, pp. 502 - 534.
- [24] W. Carlo, "Respiratory Therapy in the newborn," em *Recommendations and guidelines for perinatal medicina*, Barcelons, Matres Mundi, 2007, pp. 356-362.
- [25] Guyton e Hall, "The sense of hearing," em *Medical Physiology*, Saunders, 2010.
- [26] A Guide to OAE for Otolaryngologists, Maico Diagnostics, 2009.
- [27] The ABAer and OAE hearing screening system - User's/Service Manual, Bio-Logic Systems Corp, 2001.
- [28] Environmental Noise Booklet, Bruel and Kjaer Sound & Vibration, 2001.
- [29] "Ear - Wikipedia," [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ear>.

- [30] "Newborn - World Health Organization," [Online]. Available: [http://www.who.int/topics/infant\\_newborn/en/](http://www.who.int/topics/infant_newborn/en/).
- [31] P. D. C. Dias, *Apontamentos Acústicos de apoio à disciplina "Acústica e Audiologia"*, FCT-UNL, 2009.
- [32] D. L. Monteiro, *Slides Fisiologia da Audição*, Serviço de Otorrinolaringologia do hospital Dona Estefânia, 2009.
- [33] D. L. Monteiro, A. C. Novas e P. B. Santos, *Slides de Anatomia do aparelho auditivo*, CHLC-EPE Hospital Dona Estefânia, 2009.
- [34] D. L. Monteiro, *Slides de Avaliação da Audição do Recém-nascido*, Serviço de otorrinolaringologia.
- [35] D. L. Monteiro, *Slides de Otoemissões Acústicas*, Serviço de otorrinolaringologia do Hospital Dona Estefânia, 2009.
- [36] D. L. Monteiro, *Potenciais evocados e otoemissões acústicas*, Unidade de Audiologia do Hospital D. Estefânia, 2009.
- [37] G. H. Brown, R. H. Smallwood, D. C. Barber, P. V. Lawford e D. R. Hose, *Medical Physics and Biomedical Engineering*, Institute of Physics Publishing, 1999.
- [38] D. M. &. Communications, *Babylog 8000 from Drager Product Brochure*, Germany, 2011.
- [39] *CPAP from Viasys Healthcare Product Brochure*, Germany.
- [40] D. M. GmbH, *Incubator 8000SC from Drager - Instructions for Use*, Germany, 1998.
- [41] D. M. A. KGaA, *Caleo Neonatal Incubator from Drager - Operating Instructions*, Germany, 2002.
- [42] G. Healthcare, *Giraffe Incubator from Ohmeda Medical*, Finland, 2005.
- [43] D. M. A. &. Co, *Air-Shields Isolette C2000 from Drager KGaA*, Germany, 2005.